



Universidade de Aveiro
2005

Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa
Departamento de Química
Departamento de Física

**Carla Maria
Dias Alves**

Radiação e Saúde – ensino numa perspectiva CTS



Universidade de Aveiro
2005

Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa
Departamento de Química
Departamento de Física

**Carla Maria
Dias Alves**

Radiação e Saúde – ensino numa perspectiva CTS

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ensino da Física e da Química, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Lucília Maria Tavares dos Santos, Professora Associada do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Doutora Nilza Maria Vilhena Nunes da Costa
professora catedrática da Universidade de Aveiro

Doutora Maria José Barata Marques de Almeida
professora catedrática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Doutora Lucília Maria Pessoa Tavares dos Santos
professora associada da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Expresso, principalmente, a minha gratidão à minha Orientadora, a Professora Doutora Lucília Maria Tavares dos Santos, por ter sido uma constante fonte de incentivo e motivação.

Agradeço aos alunos e às minhas colegas Brígida, Cristina, Sara, Teresa e Cristina pela sua colaboração na realização desta pesquisa.

O meu reconhecimento especial às Comissões Executivas das Escolas Secundária de Tondela e Escola Secundária de Santa Comba Dão.

Dedico um agradecimento especial aos meus familiares por me encorajarem e me ajudarem a completar o presente estudo.

palavras-chave

radiação, saúde, ensino, concepções alternativas, ciência, tecnologia, sociedade, aplicações, efeitos, risco, ponderação

resumo

Esta dissertação apresenta um estudo sobre o ensino e a aprendizagem no tema *Radiações*.

O ensino das áreas das ciências tendo em atenção as relações que a Ciência estabelece com a Tecnologia e a Sociedade é importante na perspectiva dos professores, porque lhes permite transmitir aos alunos uma visão equilibrada sobre os benefícios e os problemas criados pelos avanços científicos. Este aspecto da educação em ciência é especialmente importante no caso das *Radiações* pois, como se sabe, estas fazem surgir fortes sentimentos, que não se fundamentam muitas vezes em dados concretos.

As *Radiações*, para além de constituírem uma componente fundamental do conhecimento científico, assumem um papel de destaque em diversos aspectos da vida quotidiana, assim sendo considera-se indispensável que todos os cidadãos tenham um nível adequado de conhecimento científico, capaz de se repercutir em competência para usar esses conhecimentos em ambientes não escolares, seja no acompanhamento de descobertas científicas, na compreensão de argumentos usados nas controvérsias sobre a sua aplicação, seja ainda como consumidor ou a nível profissional.

Neste estudo procurou-se encontrar estratégias para ensinar o tema *Radiações* de modo a que os alunos fiquem não só elucidados sobre os perigos potenciais das mesmas, mas também que tenham consciência de que estas podem ser utilizadas de modo seguro.

Assim, grande parte desta dissertação é dedicada à exploração da natureza dos problemas detectados na aprendizagem sobre radiações. Foram realizadas investigações que analisaram esta questão sob vários ângulos, tendo em conta as opiniões de peritos em radiação, textos sobre radiações nas notícias e nos manuais escolares e as concepções alternativas dos alunos antes e após o ensino formal a nível do ensino secundário. Os resultados obtidos, neste estudo, levam a recomendações sobre os contextos e conteúdos a serem leccionados sobre o tema *Radiações*, de modo a promover nos alunos uma avaliação criteriosa sobre as aplicações destas e a um aumento do conhecimento, por parte dos professores, sobre as concepções alternativas dos alunos. Com base nas implicações dos resultados obtidos são propostas estratégias de intervenção.

keywords

radiation, health, teaching, alternative conceptions, science, technology, society, applications, effects, risk, assessment

abstract

This dissertation presents a study that deals with the teaching and learning of *Radiations*.

Teaching science areas with focus on the relations that Science establishes with Technology and Society, is important in the teachers' perspective because it allows them to provide the pupils, with a balanced understanding of the benefits and the problems that scientific progresses bring. This aspect of science education is especially important in the case of *Radiations* because they raise strong beliefs that aren't always based on solid evidence.

Radiations, not only constitute a fundamental component of the scientific knowledge, but also assume an important role in several aspects of daily life. Therefore this makes their understanding indispensable to all citizens, in order to provide them with an appropriate level of scientific knowledge capable of becoming competent to use this knowledge outside school, either in following scientific discoveries, in understanding controversial issues about their applications, as a consumer or in a professional level.

In this study it is tried to find strategies to teach the theme *Radiations* with the aim of making students aware, not only of the potential dangers of the radiations, but also that they can be used in a safe way.

Thus, a great part of this dissertation is dedicated to exploring the nature of problems detected while learning about radiations. Investigations that analysed this matter under several perspectives were carried out, taking into account the opinions of radiation experts, texts about radiation topics in the news and in school textbooks, and students' alternative conceptions before and after formal teaching in the secondary level. The results show that we must have some precautions about contexts and contents selected for teaching the theme *Radiations* in order to promote thoughtful evaluation of their applications and to a deeper knowledge of students' alternative conceptions. The implications of the results led to the proposals of new intervention strategies.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - PROBLEMA EM ESTUDO	4
1.1. Introdução.....	4
1.2. Escolha do tema	6
1.3. Definição do problema.....	7
1.4. Finalidades e objectivos do estudo.....	8
1.5. Planificação	9
1.6. Linhas de investigação no ensino das ciências.....	11
1.6.1. Educação numa perspectiva CTS	11
1.6.2. Movimento das concepções alternativas.....	13
CAPÍTULO 2 - ABORDAGEM ÀS COMPONENTES DO ESTUDO	16
2.1. Opções metodológicas	16
2.2. Selecção de contextos e conteúdos curriculares	20
2.2.1. Leccionação do tema radiações em Portugal.....	21
2.2.2. Materiais curriculares inovadores sobre radiações	25
2.2.3. Estudos efectuados sobre o interesse em determinados contextos relacionados com radiações	27
2.2.4. Estudos efectuados sobre os contextos adequados ao ensino das radiações na área da saúde.....	28
2.3. Concepções alternativas sobre radiações.....	31
2.3.1. Ideias sobre radiações veiculadas em textos de jornais e em anúncios.....	33
2.3.2. Concepções alternativas dos estudantes de ciências	36
2.3.3. A incidência e a importância das concepções alternativas	39
2.3.4. Significados atribuídos pelos estudantes de ciência a alguns conteúdos científicos.....	41
2.4. Problemas encontrados no ensino do tema radiações.....	42
2.4.1. O tema radiações nos manuais escolares.....	43
2.4.1.1. Domínios de contextos	44
2.4.1.2. Conceitos abordados.....	48
2.4.1.3. Inclusão e/ou ênfase dada a concepções alternativas	52
2.4.1.4. Aspectos referentes ao risco	57
2.4.2. Problemas encontrados ao ensinar o tema radiações	58
2.4.2.1. As experiências dos professores com a leccionação de radiação tendo em atenção os efeitos na saúde.....	58

2.4.2.2. Concepções alternativas nos professores	59
2.4.2.3. Problemas encontrados na aprendizagem sobre radiações.....	60
2.4.2.4. A persistência das ideias comuns entre os alunos	61
2.5. A ponderação de risco.....	66
2.5.1. Causas de ansiedade em relação às radiações.....	67
2.5.2. Modelos conceptuais	68
2.5.3. Como abordar o risco da radiação na educação.....	71
2.5.4. Definição de objectivos.....	72
CAPÍTULO 3 - ESTUDO REALIZADO COM OS ALUNOS.....	74
3.1. Apresentação.....	74
3.2. Opções metodológicas	75
3.2.1. Modelo de análise.....	75
3.2.2. Selecção e caracterização do Universo em estudo.....	78
3.2.3. Selecção e caracterização da amostra.....	79
3.2.4. O Questionário.....	81
3.3. Estudo Piloto.....	84
3.3.1. Objectivos do Estudo Piloto.....	84
3.3.2. Administração do questionário	85
3.4. Apresentação dos resultados	85
3.4.1. Interesse dos inquiridos em diferentes domínios de contextos	86
3.4.2. Conhecimento dos inquiridos sobre as aplicações médicas.	104
3.4.3. Ideias incorrectas que possam dificultar a ponderação de risco.	106
3.5. Análise dos resultados obtidos no estudo piloto.....	137
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES DO ESTUDO	142
4.1. Conclusões	143
4.1.1. Análise dos resultados obtidos nas várias vertentes abordadas.....	143
4.1.2. Análise comparativa dos resultados obtidos neste estudo com os obtidos na pesquisa efectuada na literatura.....	154
4.2. Recomendações e estratégias para ensinar o tema Radiações na área da saúde .	159
4.3. Recomendações sobre a formação de professores	166
4.4. Recomendações para pesquisas posteriores.....	171
4.4.1. Limitações do estudo realizado	171
4.4.2. Pesquisas posteriores	172
Bibliografia	173

ANEXOS

A – Tipos e características das radiações

B – Efeitos das radiações

C – Radioprotecção

D – Radiação natural e artificial

E – Risco

F – Questionário

G – Fichas

H – Bibliografia

CAPÍTULO 1

PROBLEMA EM ESTUDO

1.1. INTRODUÇÃO

Embora o estudo de algumas radiações seja relativamente novo (os raios cósmicos foram descobertos há menos de um século) na sociedade moderna, as radiações desempenham um papel importante: são usadas nos hospitais para fins de diagnóstico e tratamento, em numerosas aplicações industriais, em pesquisas sobre agricultura, em centrais de energia eléctrica, em armas e nas comunicações à distância, entre outras vertentes do quotidiano. Contudo algumas das suas aplicações, como por exemplo: o armazenamento de resíduos nucleares, a construção de centrais nucleares e o desenvolvimento de armas nucleares, são muito controversas.

Atendendo ao impacto que as radiações têm na vida de cada indivíduo e tratando-se de um tema tão polémico, seria de esperar que a educação formal em ciências elucidasse os estudantes enquanto população activa (pelo menos) sobre os aspectos científicos inerentes às suas aplicações visto estes serem abordados em vários debates públicos. Contudo, os *curricula* de Física e Química portugueses têm dado pouca atenção às aplicações das radiações e às vantagens e desvantagens da sua utilização.

Ao analisar os *curricula* e os manuais de Química e Física, em vigor até 2003 verificou-se que, no ensino secundário, a abordagem mais comum para o ensino sobre as radiações era bastante académica: começava-se com o espectro electromagnético usado para introduzir os vários tipos de radiações electromagnéticas e em seguida apresentavam-se as grandezas a elas associadas. As radiações alfa e beta não eram, muitas vezes, abordadas e normalmente não se dava muita atenção às aplicações das radiações, explicitando-se apenas o papel que elas desempenham no esclarecimento da estrutura da matéria.

Embora a educação Científica, Tecnológica e Social (CTS) estivesse prevista, para o ensino em Portugal, desde os anos noventa (Martins e Veiga, 1999) esta orientação era pouco seguida. Os únicos aspectos CTS que apareciam, na maioria dos manuais escolares, eram a descrição dos prós e contras da produção de energia eléctrica, em centrais nucleares e, por vezes, uma referência às armas nucleares.

Na década de noventa, no 3º Ciclo do Ensino Básico, começou a ser leccionada a área temática, de opção, “*Radiação e Ambiente*” que explorava o tópico das radiações ionizantes e respectivos métodos de detecção, distinguia entre os diversos tipos de radiações ionizantes, e onde se considerava “obrigatório” a discussão das vantagens e desvantagens do uso da energia nuclear. O estudo e a discussão dos possíveis efeitos da radiação nos organismos vivos, bem como os conceitos de irradiação e contaminação eram considerados “opcionais” (Programa e Organização Curricular do 3º Ciclo do Ensino Básico). Pretendia-se, com esta área temática, que os alunos adquirissem conhecimentos físicos necessários à compreensão de “*debates sociais, políticos, económicos, médicos e tecnológicos sobre radiação e energia nuclear*”. Na realidade o que se verificou foi que, sendo esta área temática considerada de opção, não foi abordada por muitos alunos.

Verificava-se, também, que a maior parte dos manuais escolares não dava especial atenção às concepções alternativas dos estudantes, talvez porque nesta altura ainda não existisse muito conhecimento disponível sobre as concepções alternativas, em especial às existentes sobre o tópico radioactividade e radiação ionizante. Contudo, já haviam sido efectuados estudos que demonstravam que estas concepções alternativas existiam e permaneciam após a leccionação de tópicos sobre as radiações (Eijkelhof, 1990).

Conforme Sequeira (1997) refere, a extensão dos programas, aliada às deficiências existentes na formação dos professores, originou um ensino das ciências que deu ênfase à memorização e à recordação de factos, em vez de se preocupar com o desenvolvimento do raciocínio dos alunos e da sua atitude perante as ciências.

Esta atitude só poderá mudar se estes forem ajudados a compreender os benefícios e os problemas que a Ciência e a Tecnologia causam, pois só através desta apreciação poderão valorizar o conhecimento gerado pela ciência.

Segundo Hurd (1987), num *curriculum* moderno os estudantes devem identificar-se com o objecto de estudo à medida que exploram problemas, processam informação e efectuam julgamentos válidos sobre assuntos de interesse pessoal e da sociedade. Segundo o mesmo autor, só com este tipo de *curriculum* se poderá responder à questão que os alunos colocam mais frequente, nos cursos científicos: “Para que é que isto tudo me serve?”, de uma forma mais sensata do que a que normalmente é dada.

Assim, estando a ser iniciada uma reforma curricular, é importante analisar a forma como o tema *Radiações* é abordado nos novos programas, procurando averiguar a eficácia das opções feitas e investigando novas formas de o leccionar segundo uma perspectiva de desenvolvimento, em particular nos alunos, de uma cultura Científica, Tecnológica e Social.

Como as radiações têm implicações em várias áreas, foi necessário restringir o estudo deste tema a um único campo de aplicação devido à impossibilidade de abranger todas as áreas. A selecção recaiu sobre a sua relação com a saúde pois este aspecto está intimamente relacionado com a qualidade de vida do cidadão comum. Por outro lado, as aplicações médicas, das radiações, têm recebido pouca atenção nos *curricula* portugueses.

O estudo que é apresentado, nesta dissertação, é essencialmente descritivo e do tipo qualitativo e pretende, como já foi referido, averiguar a eficácia das opções que foram feitas nos actuais *curricula* e investigar novas formas de leccionar o tema *Radiações* abordando especialmente as suas aplicações e as suas consequências na *Saúde*.

1.2. ESCOLHA DO TEMA

Embora as radiações façam parte do nosso quotidiano, na maior parte do tempo, não nos apercebemos da sua utilização quer devido ao seu uso rotineiro quer por desconhecimento da interacção existente. Mas, quando estas interferem com o nosso bem-estar e segurança prestamos-lhes muita atenção, sendo até motivo de ansiedade.

Contudo, apesar das imensas aplicações das radiações, e da sua importância para o bem-estar de todos os seres vivos, é comum ouvir os alunos dizerem, quando se inicia o estudo das radiações, “Para que serve estudar isto?”.

Esta incapacidade de ver o interesse das matérias leccionadas é provavelmente uma consequência da natureza do ensino e da aprendizagem das ciências. O tema é, normalmente, ensinado num contexto puramente académico, sendo dada pouca importância às suas aplicações, não se fazendo a análise dos benefícios e das desvantagens da sua utilização, transmitindo-se uma visão deformada e empobrecida da actividade científica, que não só contribui para uma imagem pública da ciência como algo alheio e inacessível como faz diminuir drasticamente o interesse dos jovens por cursos científicos (Matthews, 1991; Solbes e Vilches, 1997).

É fundamental que se inverta esta situação se se quer aumentar o interesse dos alunos relativamente ao tema e promover a capacidade de fazerem análises ponderadas. Para se atingirem estes objectivos, o ensino das ciências deve abordar situações concretas de interesse/relevância para a vida do cidadão comum, promovendo uma melhor compreensão do mundo que o rodeia ao mesmo tempo que explica os conceitos científicos.

De acordo com um estudo (Solbes e Vilches, 1995), realizado com alunos de Física e Química, em escolas públicas secundárias da região autónoma de Valência, Espanha,

sobre temas específicos que gostariam de ver integrados nas aulas das referidas disciplinas, os estudantes responderam gostar de ver incluídas nas aulas aplicações concretas da Física e da Química na resolução de problemas e no uso de novos materiais e tecnologias, da introdução de debates acerca de assuntos científicos actuais, bem como a abordagem de temas relacionados com o ambiente e com os problemas ambientais causados pelo desenvolvimento tecnológico.

Na verdade, muitos estudantes acreditam que é muito importante para eles compreender como é que os seus cursos se relacionam com: as suas carreiras futuras, o seu crescimento em termos de vocação e as suas vidas pessoais (secção 3.4.1).

Isto, só por si, justifica a escolha do tema desta dissertação *Radiações e Saúde*, pois está intimamente relacionado com as carreiras futuras de grande parte dos alunos que frequentam cursos de ciências e por outro lado afecta a vida de todos os seres vivos. Também é indiscutível a relevância de trabalhos, como o presente, em que se pretende desenvolver estratégias de ensino para uma aprendizagem onde se tenha em consideração as inter-relações Ciência - Tecnologia - Sociedade para promover a literacia científica dos nossos alunos.

1.3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A questão que inicialmente se pôs foi:

“Como ensinar os conceitos associados às radiações seguindo uma metodologia CTS?”

No entanto, esta questão, formulada deste modo, é demasiado vaga pois não delimita o campo de acção e é pouco exequível atendendo às inúmeras implicações do tema.

Como foi referido na introdução, o leque de aplicações e fenómenos associados às radiações é muito vasto. Surgiu, assim, a necessidade de escolher um aspecto das radiações que não tivesse sido abordado, pelo menos intensivamente nos programas escolares portugueses, e que fosse importante para o desenvolvimento cultural do cidadão comum.

A questão foi reformulada passando a tomar a seguinte forma:

“Quais são as condições curriculares, e de leccionação, que têm de ser cumpridas, de modo, a promover uma análise e uma avaliação cuidadosa sobre as vantagens *versus* desvantagens da utilização das radiações, na Saúde dos cidadãos?”

1.4. FINALIDADES E OBJECTIVOS DO ESTUDO

Decorrente da escolha do tema, definiram-se o objectivo e as finalidades seguintes.

Objectivo principal

O objectivo desta tese é procurar apresentar estratégias sobre como ensinar o tema *Radiações* de modo a dotar os estudantes de capacidades que lhes permitam avaliar sobre as vantagens e as desvantagens inerentes à utilização das radiações, para a sua saúde e da população em geral, em situações que poderão ocorrer ao longo da sua vida.

Finalidades

Como se pretende que este estudo seja uma ferramenta de trabalho para os professores espera-se que ele possa contribuir para estes:

- se sentirem melhor preparados para diagnosticar, no futuro, as concepções alternativas dos seus alunos sobre radiações;
- desenvolverem as capacidades e as atitudes fundamentais necessárias para promoverem a alfabetização científica dos seus educandos, relativamente ao tema *Radiações*;
- desenvolverem uma visão integradora da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade necessária à motivação dos seus alunos;
- aumentarem e melhorarem os conhecimentos sobre as aplicações das radiações.

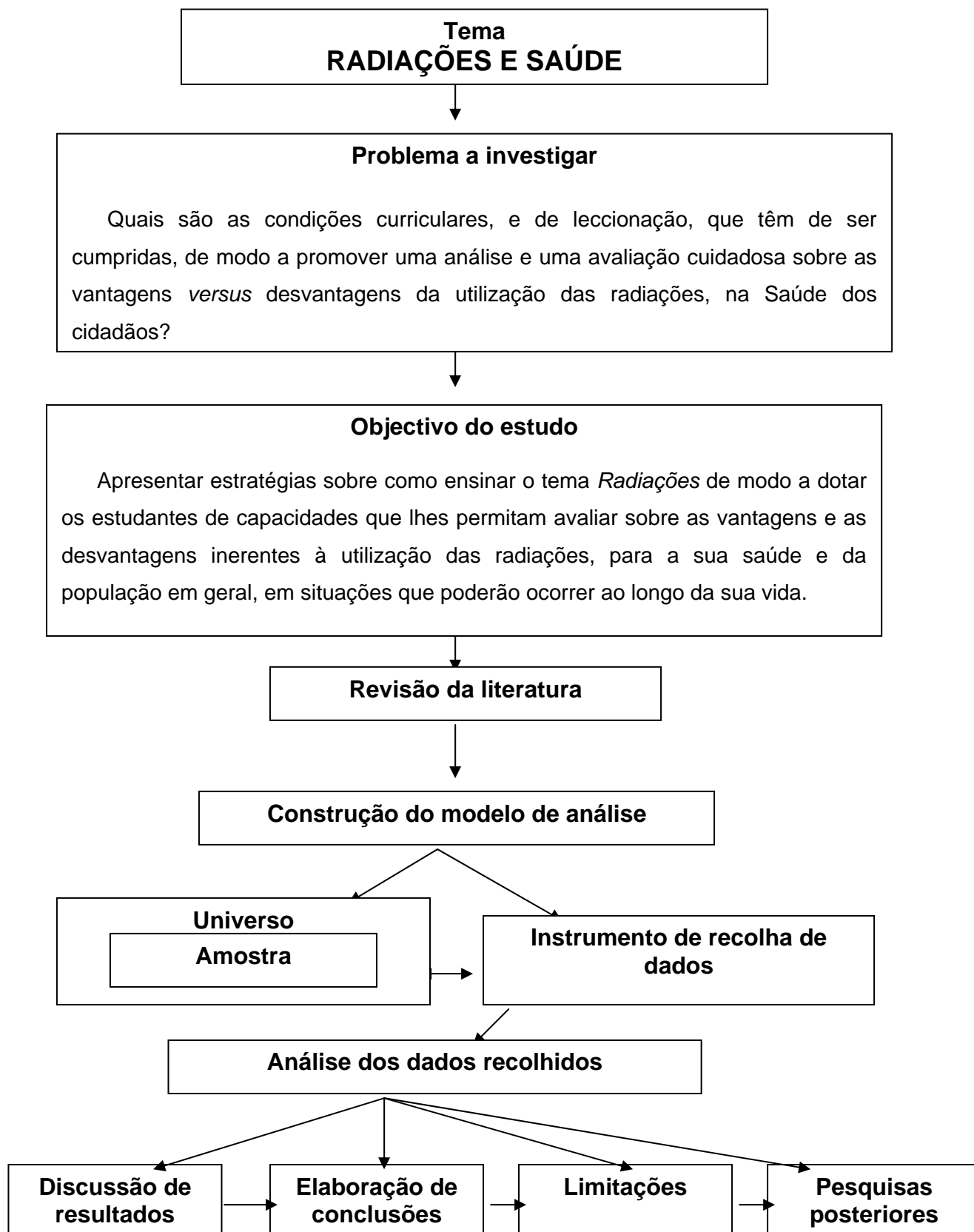
1.5. PLANIFICAÇÃO

Após a selecção do tema, da delimitação da área a estudar dentro do tema, da definição do problema e do objectivo principal do estudo, passou-se à Revisão de Literatura, imprescindível para a recolha de informação sobre a área em estudo. Nesta revisão foram pesquisados não só aspectos científicos, da área em estudo, como também foram analisados documentos sobre as tendências que actualmente são preconizadas para o ensino das ciências.

A partir das informações e sugestões retiradas da literatura, passou-se à construção de materiais de apoio, para serem usados na sala de aula, e à escolha do instrumento de recolha de dados. Ponderado o Modelo de Análise e os objectivos pretendidos optou-se por utilizar um questionário semi-aberto na realização de um estudo piloto, para se ter alguma noção da situação, a nível local, nesta área. Seguiu-se a definição do Universo, da Amostra e do traçado das suas características. Há a salientar que, desde o início, este estudo pretendia ser apenas um estudo piloto. Os resultados não foram assumidos como representativos do Universo mas apenas como indicadores da possibilidade da existência de determinados problemas nesse Universo.

Contudo, para que os resultados deste estudo piloto tivessem alguma validade foi feita a Análise Estatística das respostas obtidas para as questões de resposta fechada e foram propostas Categorias de Resposta para as questões de resposta aberta. Terminada esta fase de Recolha de dados, procedeu-se à Discussão dos Resultados. Nesta fase, o Modelo de Análise e as hipóteses formuladas foram confrontados com as respostas dos alunos. Finalmente, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos, neste estudo piloto, com os resultados obtidos na Revisão da Literatura de modo a elaborar as Conclusões e as Implicações deste estudo.

O diagrama 1, pretende ilustrar a síntese do trabalho desenvolvido através de uma marcha sequencial das diferentes etapas que o presente estudo seguiu.



1.6. LINHAS DE INVESTIGAÇÃO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

Em Portugal, o processo de reforma curricular que actualmente está a ocorrer apresenta propostas inovadoras para o ensino das ciências segundo uma visão construtivista, valorizando a resolução de problemas e promovendo a perspectiva CTS, tendo em vista a literacia científica dos alunos (Programa de Física e Química A-10º Ano, 2001). Este tipo de ensino está de acordo com os estudos que têm vindo a ser desenvolvidos, nos últimos vinte anos, à escala internacional, sobre as finalidades da educação científica e que apontam para *currícula* que enfatizem a discussão de questões sociocientíficas, promovendo não só a alfabetização científica e tecnológica mas também a alfabetização cívica e cultural (Santos, 2004).

Para além do movimento CTS o outro “núcleo duro” da didáctica das ciências tem sido o movimento das concepções alternativas, sendo prova deste facto os inúmeros artigos sobre o assunto que têm sido publicados em revistas nacionais e internacionais (Más, 1996).

Atendendo à importância destes dois movimentos são apresentadas a seguir algumas das suas características.

1.6.1. EDUCAÇÃO NUMA PERSPECTIVA CTS

Nos anos sessenta, do século XX, começaram a surgir movimentos a favor de uma educação CTS, quando se tomou consciência de que não era possível ignorar mais, as limitações e a falibilidade da ciência. O público exigia que fosse disponibilizada informação sobre os prós e contras da Ciência e da Tecnologia. Principalmente durante a década de oitenta, estes movimentos estenderam-se às ciências da educação tendo surgido vários argumentos a favor da sua aplicação no ensino básico e secundário. Entre os argumentos que foram mais frequentemente utilizados, estão os seguintes:

- como a ciência e a tecnologia desempenham um papel importante na vida social e pessoal, na sociedade moderna, todos os cidadãos devem ter uma compreensão básica da Ciência e da Tecnologia (NSTA, 1982; Science Council of Canada, 1984). É a chamada “ciência para todos”.

- como se verifica existir pouco interesse nos cursos de especialização em ciência e tecnologia é preciso atrair mais pessoas para estes cursos (OTA, 1988; Neuschatz, 1989). Segundo Lewis, Bondi, Sjoeborg e Imsen (citados em Eijkelhof, 1990), isto

acontece porque os estudantes só vêem as consequências nefastas da ciência ou os seus aspectos aborrecidos e irrelevantes.

- uma maior ênfase na visão CTS irá esclarecer, melhor, a relação existente entre a ciência e o mundo dos estudantes, conduzindo a uma melhor aprendizagem da ciência. Segundo esta perspectiva os estudantes ao terem de aplicar conhecimento científico em contextos familiares ficariam mais motivados para as tarefas de aprendizagem. Hogenbirk, Wierstra e Van der Valk são alguns dos autores que apresentaram este tipo de argumento (citados em Eijkelhof, 1990).

- a abordagem CTS promove a cidadania. A educação em ciência deve criar cidadãos que compreendam as ciências de um modo pluridimensional e pluridisciplinar permitindo-lhes participar inteligentemente no pensamento crítico e na resolução de problemas, dotando-os das capacidades necessárias à tomada de decisões sobre como a ciência e a tecnologia são utilizadas para mudarem a sociedade (Sequeira, 1997). A perspectiva CTS proporcionaria assim uma estrutura rica para o desenvolvimento das características que fazem um cidadão.

Assim segundo Yager (1996), *“o ensino CTS assume-se como uma forma estruturada de ensinar ciência e tecnologia, como um esforço de reforma no sentido de se atingirem níveis aceitáveis de literacia científica por parte da população em geral”*.

O objectivo deste estudo não é verificar a validade das pretensões deste movimento, mas apenas investigar como é que o actual *currículum* de **Física e Química A (primeiro ano)** (embora a designação oficial seja *Programa de Física e Química A-10º Ano* este programa poderá ser leccionado no 10º ano ou no 11º ano daí ter-se optado por referenciá-lo como sendo o correspondente ao “primeiro ano”) promove o ensino das *Radiações*; se foi tida em conta o ensino CTS e analisar quais foram as abordagens utilizadas. Será dada especial atenção ao modo como são abordadas as aplicações e as consequências das radiações na saúde.

Na secção 2.2. são apresentados alguns projectos inovadores sobre ensino CTS de *Radiações*.

1.6.2. MOVIMENTO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Embora, no início do século XX, Piaget tivesse estudado o modo como as crianças encaram os fenómenos naturais, este tema só começou a ser pesquisado, em profundidade, nas ciências da educação, por volta dos anos setenta.

Esta linha de investigação denominada actualmente como *movimento das concepções alternativas* tem por objecto “o estudo e a transformação das ideias prévias dos alunos em contextos científicos concretos” (Más, 1996). Segundo este movimento o objectivo principal da educação em ciências é ajudar os alunos a desenvolverem a compreensão significativa dos conceitos científicos e os processos de descrição, explicação e controlo dos fenómenos naturais (Driver, 1987) promovendo a literacia científica em todos os alunos (Sequeira, 1997).

Embora inicialmente a maioria dos estudos realizados só identificasse concepções particulares, ou a sua persistência, actualmente já existem algumas pesquisas sobre os modelos conceptuais usados em determinadas situações e sobre o desenvolvimento de estratégias que possam ser aplicadas, pelos professores, de modo a promover uma alteração conceptual. O desenvolvimento destas estratégias é extremamente importante porque, por vezes, o conhecimento das concepções alternativas e dos modelos conceptuais não é suficiente para se conseguir um ensino e uma aprendizagem eficazes.

Segundo Lijnse (citado em Eijkelhof, 1990) e Eijkelhof (1990), embora se deva prestar, sempre, atenção às concepções alternativas dos estudantes, ao realizar-se um ensino segundo uma perspectiva CTS a atenção à influência das concepções alternativas na aprendizagem deverá ser reforçada porque, neste tipo de ensino, os estudantes são forçados a aplicar conhecimentos em situações familiares, que podem trazer à superfície as concepções alternativas referentes a essas situações. Contudo, estes autores também referem que, embora um ensino CTS possa agravar o problema das concepções alternativas, pois os estudantes são deliberadamente confrontados com o mundo exterior e com o seu senso comum, por outro lado este tipo de ensino providencia oportunidades que poderão ser utilizadas para discutir as diferenças entre as ideias científicas e as concepções alternativas. A eficácia desse confronto de ideias, para a aprendizagem, irá depender, em grande parte, dos contextos e das concepções alternativas que são abordadas, em cada contexto CTS. Assim, devido ao pouco tempo disponível, para a leccionação dos vários conteúdos, é importante que se saiba, com antecedência, quais são as situações que poderão potenciar uma mudança conceptual mais eficaz.

Quanto à origem das concepções alternativas, têm sido apontadas várias causas desde a linguagem do dia-a-dia, aos meios de informação, às percepções dos alunos de fenómenos do quotidiano, etc.

Na secção 2.3. são apresentados alguns estudos sobre concepções alternativas, sendo dada especial atenção aos que abordaram o tema das *Radiações*.

CAPÍTULO 2

ABORDAGEM ÀS COMPONENTES DO ESTUDO

Não obstante a reconhecida importância da orientação CTS para o ensino das ciências, esta tem-se debatido com alguns problemas, quer ao nível de estratégias de sala de aula (Solbes e Vilches, 1997), quer pela escassez de materiais curriculares adequados. Neste capítulo, procura-se analisar alguns estudos realizados sobre a natureza destes problemas e as estratégias que foram propostas. Assim, optou-se essencialmente por recolher dados pré-existentes, de estudos anteriores, apresentando-os de forma adequada a este estudo. Estes dados também serviram de base para a elaboração de um estudo piloto, através do qual se pretende ter uma noção da situação “portuguesa” relativamente a alguns pontos.

As dificuldades e limitações que surgiram, devido à selecção deste método de recolha de dados, são discutidas no capítulo 4.

É apresentado a seguir um resumo dos assuntos tratados neste capítulo.

Na secção 2.1 apresentam-se as opções metodológicas.

A secção 2.2 aborda o problema da selecção dos contextos e conteúdos curriculares.

A secção 2.3 trata das concepções alternativas que já foram detectadas em alunos e na sociedade.

Na secção 2.4 são apresentados os problemas inerentes ao ensino do tema.

Na secção 2.5 são analisadas as atitudes face ao risco da exposição a radiações.

2.1. OPÇÕES METODOLÓGICAS

Como a questão principal, apresentada na secção 1.3, é muito complexa pois engloba vários aspectos, tais como: contextos e conceitos; concepções alternativas; problemas inerentes ao ensino; atitudes em relação aos riscos associados às radiações, ficou claro que a questão principal não poderia ser respondida num único estudo. O estudo principal foi, portanto, dividido em quatro vertentes. Embora cada uma destas vertentes seja estudada em separado o objectivo final é realizar uma análise conjunta dos resultados de modo a dar resposta à questão principal.

É apresentado a seguir um resumo das vertentes que foram analisadas e das linhas de pesquisa seguidas nesses estudos.

I - Contextos e conceitos adequados à leccionação das radiações tendo em vista a avaliação das vantagens/desvantagens, para a saúde, da sua utilização.

O tópico “saúde” não tem sido explorado em profundidade no ensino da Física e da Química, em Portugal, pelo que é necessário aprofundar quais são as situações que deverão ser exploradas, e os conteúdos científicos que são precisos, para desenvolver nos alunos a capacidade de fazer uma avaliação ponderada dos benefícios e das consequências nefastas que as radiações têm na saúde. Sendo a área de aplicação das radiações controversa efectuou-se uma pesquisa sobre os estudos que foram efectuados sobre o assunto.

Esta investigação, cujos resultados são apresentados na secção 2.2, foi guiada pelas seguintes questões de pesquisa:

- 1- Quais são os contextos, sobre radiações, que poderão ser incluídos no ensino secundário e que são apropriados para abordar o tópico saúde?
- 2- Quais são os conteúdos científicos que deverão ser abordados de modo a estimular uma avaliação cuidada dos benefícios e das consequências nefastas para a saúde, nos contextos seleccionados?

II - Concepções alternativas que podem dificultar a avaliação das vantagens *versus* desvantagens da utilização das radiações para a saúde

A existência de concepções alternativas sobre radiações é conhecida. Nesta discussão apresentam-se resultados de estudos já realizados sobre a natureza e a incidência destas concepções e como é provável que estas sejam influenciadas por ideias veiculadas pelos *media* em, por exemplo notícias e anúncios, é efectuada uma análise de textos desses *media*. O conhecimento destas ideias é fundamental para que os professores as possam rebater promovendo uma aprendizagem eficaz.

Assim as questões de pesquisa a investigar são:

- 1- Quais são as concepções alternativas, sobre as radiações, que podem ser detectadas nas notícias e nos anúncios?
- 2- Quais são as concepções alternativas sobre as radiações, mais reconhecidas pelos cientistas?
- 3- Em que medida estas concepções constituem um obstáculo para a avaliação dos benefícios e das consequências nefastas das radiações para a saúde?

A questão 1 foi abordada analisando a literatura e várias notícias. Os resultados são apresentados na secção 2.3., bem como os referentes às questões 2 e 3. Estas questões foram tratadas através de uma pesquisa na literatura e através de um questionário cujos resultados são apresentados na secção 3.4.

III - Problemas inerentes ao ensino das *Radiações*

Como a metodologia mais tradicional de ensino das ciências ainda se baseia na utilização de manuais escolares, efectuou-se uma análise dos mesmos para investigar os contextos e conteúdos apresentados e as abordagens CTS utilizadas no tema *Radiações* em particular na temática *Radiação e Saúde*.

Analisaram-se estudos anteriores sobre a leccionação do tema, para se ter uma visão dos métodos aplicados e das dificuldades encontradas na abordagem da avaliação das desvantagens *versus* vantagens da utilização das radiações.

Os trabalhos, nesta investigação, foram guiados pelas seguintes questões de pesquisa:

- 1- Qual é a abordagem que os manuais escolares usam para leccionar o tema *Radiações*?
- 2- Quais são os problemas de leccionação e aprendizagem que foram detectados, ao ensinar o tema *Radiações* no tópico *Saúde*?

A questão 1 foi tratada analisando manuais escolares, de *Física e Química A* (primeiro ano), sobre:

- contextos abordados;
- significados atribuídos a conceitos importantes;
- concepções alternativas;
- as referências feitas a assuntos relacionados com a saúde.

A questão 2 foi tratada através de uma pesquisa na literatura. Os resultados desta investigação são apresentados na secção 2.4.

IV - Atitudes dos estudantes face à avaliação das consequências que as radiações têm na saúde.

Embora, até há poucos anos, se verificasse existirem na sociedade atitudes, predominantes, bastante fortes em relação ao risco das radiações, mas apenas das ionizantes, nos últimos anos começa-se a assistir a alguma preocupação com as radiações não-ionizantes, principalmente com as utilizadas nas comunicações à distância (por exemplo, as utilizadas nos telemóveis).

É pois de esperar que alguma desta ansiedade sobre as radiações, também exista em estudantes e que este facto possa desempenhar um papel importante num esquema educacional que dê ênfase à avaliação da utilidade das radiações.

De modo a ter uma visão mais profunda da natureza desta ansiedade efectuaram-se pesquisas na literatura e incluíram-se no questionário questões sobre esta matéria.

Estas investigações foram guiadas pelas seguintes questões de pesquisa:

- 1- Quais são as maiores causas de ansiedade do público em geral sobre as radiações e as suas aplicações?
- 2- Quais são as diferenças existentes entre o modo de pensar, sobre as radiações, das pessoas comuns e dos cientistas?
- 3- Como é que os estudantes, antes da instrução formal, percebem os riscos das radiações?
- 4- A que aspectos devem, os professores, dar ênfase para responderem a este tipo de ansiedade?

Estas questões foram investigadas com base em pesquisas anteriores e com base num questionário, cujos resultados são, respectivamente, sumariados na secção 2.5 e 3.4.

2.2. SELECÇÃO DE CONTEXTOS E CONTEÚDOS CURRICULARES

A pesquisa tem mostrado que o sucesso de um *curriculum*, que tenha por objectivo promover uma maior compreensão da ciência, depende em particular da escolha dos contextos, da motivação, e da fonte de informação. No caso de um ensino CTS, o problema da selecção de contextos e conteúdos, torna-se ainda mais importante pois centra-se no ser humano, na sociedade e nos seus problemas e na interacção destes componentes.

A situação ideal seria que a selecção dos conteúdos científicos e dos contextos fosse feita tendo em atenção um determinado objectivo. Contudo, sabemos que, na realidade, não é isso que acontece: os contextos são frequentemente seleccionados para funcionarem como aplicações para um determinado conjunto de conteúdos científicos. Aliado a este facto existe uma notória falta de análise, na literatura CTS, sobre os conteúdos ou conceitos necessários para se tomarem decisões fundamentadas ou para se resolverem determinados problemas (Sequeira, 1997). Isto mostra como, por vezes, nos esquecemos que a dificuldade do pensamento científico não está, muitas vezes, na compreensão dos conceitos, mas na selecção e uso que se faz desses conceitos para se efectuarem decisões ou resolverem problemas.

É necessário encontrar situações que fomentem a aplicação dos conceitos na resolução de problemas. No caso dos contextos sobre radiações esperamos que os alunos ao analisarem as interacções das radiações com os organismos vivos aprendam, não só, conceitos científicos, mas também, que explorem assuntos importantes para as suas vidas e para o seu futuro pois as suas decisões poderão condicionar não só o seu futuro bem como o das outras pessoas. (Hurd, 1987).

Atendendo à importância deste facto, nesta secção são abordados alguns problemas que surgem na selecção de contextos e conteúdos, no tema *Radiações*. O estudo é feito tendo em conta o actual *curriculum* de ciências bem como critérios de selecção de temas CTS, tais como: (1) serem adequados ao desenvolvimento cognitivo dos alunos; (2) serem importantes nos dias de hoje e na vida futura dos alunos e (3) serem potencialmente do interesse dos alunos (Membiela, 1997). Procura-se, assim, encontrar respostas para a questão:

Quais são os contextos e conteúdos científicos apropriados para desenvolver, nos estudantes, a capacidade de análise e avaliação das vantagens/desvantagens inerentes à utilização das radiações?

Como referido anteriormente, esta investigação foi guiada pelas seguintes questões de pesquisa:

1- Quais são os contextos, sobre radiações, que poderão ser incluídos no ensino secundário e que são apropriados para abordar o tópico saúde?

2- Quais são os conteúdos científicos que deverão ser abordados de modo a estimular uma avaliação cuidada dos benefícios e das consequências nefastas para a saúde, nos contextos seleccionados?

Nesta secção começa-se por especificar os conteúdos científicos e contextos referidos no programa de **Física e Química A** (primeiro ano) e como podem ser apoiados por materiais didácticos disponíveis a nível extra-nacional. Em seguida são apresentados alguns estudos efectuados sobre a selecção de conteúdos e contextos adequados à promoção da ponderação de risco associado às radiações.

2.2.1. LECCIONAÇÃO DO TEMA RADIAÇÕES EM PORTUGAL

Nos antigos *curricula* o número de contextos usados no ensino das *Radiações* era limitado e a maior parte fazia referencia quase exclusivamente à pesquisa científica (experiências famosas, instrumentos científicos) ou à produção de energia. Os conteúdos científicos não pareciam surgir dos contextos, mas baseados numa visão do que os estudantes deveriam saber no final de cada ciclo de ensino

Apresenta-se a seguir um resumo do novo *curriculum* nacional para a disciplina **Física e Química A (primeiro ano)**.

Programa de Física e Química A, primeiro ano.

Componente de Química

MÓDULO INICIAL - Materiais: diversidade e constituição

Contexto: A diversidade da composição do mundo natural e do artificialmente construído.

UNIDADE 1 – Das Estrelas ao Átomo

Contexto: A história dos átomos, dos elementos, das partículas sub-atómicas desde a sua formação até ao conhecimento das propriedades dos elementos.

Objectos de ensino

- *Arquitectura do Universo*: Teoria do Big-Bang e suas limitações; outras teorias; Escalas de tempo, comprimento e temperatura; Unidades SI e outras de tempo, comprimento e temperatura; Medição em Química; Aglomerados de estrelas, nebulosas, poeiras interestelares, buracos negros e sistemas solares; Processo de formação de alguns elementos químicos no Universo; As estrelas como "fábricas" nucleares; Algumas reacções nucleares e suas aplicações; Fusão nuclear do H e do He; Síntese nuclear do C e do O; Fissão nuclear; Distribuição actual dos elementos no Universo.

- *Espectros, radiações e energia*: Emissão de radiação pelas estrelas – espectro de riscas de absorção; Espectro electromagnético – radiações e energia; Relação das cores do espectro do visível com a energia da radiação; Análise elementar por via seca; Aplicações tecnológicas da interacção radiação-matéria.

- *Átomo de hidrogénio e estrutura atómica*: Espectro do átomo de hidrogénio; Quantização de energia; Modelo quântico; Números quânticos; Orbitais; Princípio da energia mínima; Princípio da exclusão de Pauli; Regra de Hund; Configuração electrónica de átomos de elementos de $Z \leq 23$

- *Tabela Periódica - organização dos elementos químicos*: Descrição da estrutura actual da Tabela Periódica; História da Tabela Periódica; Posição dos elementos na Tabela Periódica e respectivas configurações electrónicas; Variação do raio atómico e da energia de ionização na Tabela Periódica; Propriedades dos elementos e propriedades das substâncias elementares.

UNIDADE 2- Na atmosfera da Terra: radiação, matéria e estrutura

Contexto: A evolução da composição da atmosfera e do clima da Terra. Como esta evolução afectou o desenvolvimento físico, químico e biológico do planeta.

Objectos de ensino

- *Evolução da atmosfera- breve história:* Variação da composição da atmosfera ao longo dos tempos e suas causas; Composição média da atmosfera actual; Agentes de alteração da concentração de constituintes vestigiais da atmosfera; Acção de alguns constituintes vestigiais da atmosfera nos organismos

- *Atmosfera: temperatura, pressão e densidade em função da altitude:* Variação da temperatura e estrutura em camadas da atmosfera; Volume molar. Constante de Avogadro; Densidade de um gás; Dispersões na atmosfera; Composição quantitativa de soluções

- *Interação radiação-matéria:* Formação de iões na termosfera e na mesosfera; A atmosfera como filtro de radiações solares; Formação de radicais livres na estratosfera e na troposfera; Energia de ligação por molécula e energia de ionização por mole de moléculas

- *O ozono na estratosfera:* O ozono como filtro protector da Terra; Formação e decomposição do ozono na atmosfera; A camada do ozono; O problema científico e social do “buraco na camada do ozono”; Efeitos sobre o ozono estratosférico. O caso particular dos CFC's; Nomenclatura dos alcanos e alguns dos seus derivados

- *Moléculas na troposfera - espécies maioritárias (N_2 , O_2 , H_2O , CO_2) e espécies vestigiais (H_2 , CH_4 , NH_3):* Modelo covalente da ligação química; Parâmetros de ligação; Geometria molecular

Componente de Física

Contexto: A educação ambiental em torno de duas ideias fundamentais – a conservação e a degradação da energia.

MÓDULO INICIAL – Das fontes de energia ao utilizador

UNIDADE 1- Do Sol ao aquecimento

“(…) compreensão de que os fenómenos que ocorrem na Natureza obedecem a duas leis gerais - a 1ª e a 2ª leis da Termodinâmica - que, em conjunto, regem a evolução do Universo: o modo como as mudanças se processam é condicionado por uma característica sempre presente - a conservação da energia em sistemas isolados.”

Objectos de ensino

- *Energia – do Sol para a Terra*: Balanço energético da Terra; Emissão e absorção de radiação. Lei de Stefan – Boltzmann. Deslocamento de Wien; Sistema termodinâmico; Equilíbrio térmico. Lei Zero da Termodinâmica; A radiação solar na produção da energia eléctrica – painel fotovoltaico

- *A energia no aquecimento/arrefecimento de sistemas*: Mecanismos de transferência de calor: condução e convecção; Materiais condutores e isoladores do calor. Condutividade térmica; 1ª Lei da Termodinâmica; Degradação da energia. 2ª Lei da Termodinâmica; Rendimento

UNIDADE 2- Energia em movimentos

“(…) conservação da energia em sistemas isolados, dando agora ênfase apenas a sistemas puramente mecânicos.”

Objectos de ensino

- *Transferências e transformações de energia em sistemas complexos – aproximação ao modelo da partícula material*: Transferências e transformações de energia em sistemas complexos (meios de transporte); Sistema mecânico. Modelo da partícula material (centro de massa); Validade da representação de um sistema pelo respectivo centro de massa; Trabalho realizado por forças constantes que actuam num sistema em qualquer direcção; A acção das forças dissipativas

- *A energia de sistemas em movimento de translação*: Teorema da energia cinética; Trabalho realizado pelo peso; Peso como força conservativa; Energia potencial gravítica; Conservação da energia mecânica; Acção das forças não conservativas; Rendimento. Dissipação de energia

É importante, aqui, ressaltar que este resumo foi feito tendo em atenção os objectivos e as finalidades desta dissertação e que embora se tenha tentado transmitir a visão dos autores, este aspecto poderá não ter sido conseguido totalmente. Para uma análise, mais completa, do actual *curriculum* de Física e Química A aconselha-se uma leitura completa do mesmo. (Programa de Física e Química A-10º Ano, 2001).

Verifica-se que neste *curriculum* já houve a preocupação de haver uma certa coerência na apresentação dos conteúdos que aparecem como uma consequência dos contextos estruturantes de cada unidade e também se verifica haver uma preocupação com a ligação entre os contextos das duas componentes: em ambas as componentes o estudo é iniciado estabelecendo relações entre as estrelas e a Terra. Houve também a preocupação de introduzir alguns contextos CTS como por exemplo: “Aplicações tecnológicas da interacção radiação-matéria”, “O problema científico e social do buraco na camada do ozono” – na componente Química - e a educação ambiental – na componente Física.

2.2.2. MATERIAIS CURRICULARES INOVADORES SOBRE RADIAÇÕES

São vários os projectos e materiais curriculares que surgiram a nível mundial, nos últimos trinta anos, para promover uma educação CTS: **SATIS** (*Science and Technology in Society*), **SAE** (*Science Across Europe*), **SAW** (*Science Across World*), **PLON** (*Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde, em inglês: Physics Curriculum Development Project*), **APQUA** (*Aprendizaje de los Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones*), **NMVEO** (*Environmental Education in Secondary Schools*), **SALTERS** (*Science. The Salters Approach*), **SISCON** (*Science in a Social Context*), **IST** (*Innovations: The social consequence of Science and Technology*), **S in S** (*Science in Society*).

Estes projectos e materiais apresentam estruturas muito diferentes, que vão desde a elaboração de um *curriculum* completamente organizado através de uma visão CTS, como no caso do projecto PLON, até à introdução no *curriculum* de unidades CTS, como ocorre no SATIS.

Segundo Aikenhead (1994), os projectos e materiais CTS podem, assim, ser classificados estruturalmente do seguinte modo:

A- Inserção ocasional ou intencional em cursos de ciência e tecnologia.

- Mencionam CTS para motivar.
- Complementam cursos tradicionais com unidades CTS.
- Integram actividades CTS nas unidades de uma disciplina ou área de conhecimento.

B- Ciência e tecnologia organizadas e sequenciadas com critérios CTS.

- De carácter disciplinar.
- De orientação multidisciplinar.

C- CTS puro.

- Inclusão de conteúdos de ciência e tecnologia integrando-os nas explicações sociais, filosóficas, etc.
- Inserção de conteúdos de ciência e tecnologia como exemplos de explicações sociais, filosóficas, etc.
- Conteúdos totalmente CTS, baseados em explicações sociais, filosóficas, etc.

São apresentados a seguir alguns projectos e materiais CTS que abordaram o ensino das radiações nesta perspectiva.

No **projecto PLON** (1972-1986) os tópicos radioactividade e radiação ionizante, foram tratados em duas unidades:

- 1- *Armas nucleares e/ou segurança*, para alunos mais novos;
- 2- *Radiação ionizante*, para alunos mais velhos.

A segunda unidade tinha como objectivo desenvolver nos estudantes a capacidade de usar conhecimento científico em situações em que fosse necessário avaliar os riscos da radiação ionizante.

No **projecto SATIS 16-19**, elaborado pela *Association for Science Education*, a unidade 24, "*X-rays and patients*" (em português, Raios-X e pacientes) fornece uma

pequena introdução ao tema da radiografia na medicina e explica o papel dos técnicos de radiologia e dos radiologistas ao mesmo tempo que aborda as propriedades dos materiais (ASE, 1990).

Nos Estados Unidos, o *Department of Energy's Office of Civilian Radioactive Waste Management* produziu o *curriculum* opcional “**Science, Society, and America's Nuclear Waste**”. Este *curriculum* ficou disponível em Agosto de 1992, para alunos com idades compreendidas entre os 12 e os 18 anos. Na Unidade 2, “Ionizing Radiation” (em português, *Radiação ionizante*), são abordados os efeitos biológicos das radiações (OECD/NEA, 1994).

O único material CTS que foi possível encontrar sobre radiações não-ionizantes foi o produzido pelo **Grupo ARGO**. Este grupo optou por usar simulações educativas com casos CTS.

Na simulação intitulada “*La controversia de las antenas de telefonía móvil. Simulación educativa de un caso CTS sobre radiaciones y vida cotidiana*” (em português, *A controversia das antenas de telefones móveis. Simulação educativa de um caso CTS sobre as radiações e a vida quotidiana*) (Alvarez et al., 2004) são abordados os efeitos das radiofrequências na saúde. Apresenta-se a seguir a simulação proposta neste caso:

“Uma empresa de telemóveis oferece, a um centro educativo, uma importante soma pelo aluguer do seu telhado para instalar uma antena de modo a amplificar o sinal do telemóvel. A oferta provoca na comunidade educativa um intenso debate onde são discutidos os possíveis efeitos para a saúde deste tipo de radiações.”

Embora as abordagens seguidas nestes projectos e materiais sejam diferentes, todos eles apresentam em comum o facto de explorarem as interações entre as radiações e a saúde para leccionar o tema *Radiações*.

2.2.3. ESTUDOS EFECTUADOS SOBRE O INTERESSE EM DETERMINADOS CONTEXTOS RELACIONADOS COM RADIAÇÕES

Na avaliação da segunda unidade do projecto PLON, sobre radiactividade e radiação ionizante Eijkelhof (1990) questionou os estudantes sobre o que gostariam de saber acerca destes tópicos. Segundo o mesmo autor, os estudantes estavam especialmente

interessados nos efeitos secundários da radiação ionizante: os tópicos mais populares eram a protecção da saúde, os riscos inerentes à exposição a radiações e os efeitos da radiação. Eijkelhof também constatou haver uma diferença, a nível de sexo, em relação à escolha do capítulo de opção: a maior parte das raparigas optavam pelo capítulo da saúde enquanto os rapazes escolhiam a energia nuclear e as armas nucleares. Esta diferença aparecia antes e após a leccionação da unidade.

2.2.4. ESTUDOS EFECTUADOS SOBRE OS CONTEXTOS ADEQUADOS AO ENSINO DAS RADIAÇÕES NA ÁREA DA SAÚDE

Embora por vezes se opte por contextos que estão na “moda”, pode acontecer que a selecção não seja a melhor para o objectivo pretendido, como já foi referido anteriormente. Antes de fazer esta escolha devemos perguntar-nos que tipos de contextos são apropriados para que o aluno médio atinja uma literacia científica que possa servir de base a uma sociedade, pelo menos, minimamente informada. A selecção dos contextos e situações deve ser feita de modo que a avaliação da utilização das radiações pareça apropriada e viável. A partir da análise destas situações poderão ser inferidos quais são os conteúdos científicos que poderão ser importantes para essa avaliação.

Só foi possível encontrar, na literatura, um estudo deste tipo feito sobre o tema radiações. Trata-se de um estudo realizado por Eijkelhof (1990) com peritos sobre radiações. Este estudo foi realizado para averiguar quais seriam os domínios de contextos e os conteúdos mais adequados para a promoção da ponderação de risco associado às radiações ionizantes.

Relativamente aos domínios de contextos os peritos, no trabalho de Eijkelhof, indicaram várias propostas que foram posteriormente agrupadas em duas categorias conforme é apresentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - *Domínios de Contextos*

Categoria I (importantes)
<p>1- Radiação de fundo: a partir do cosmos, dos alimentos, das rochas, materiais de construção, etc.</p> <p>2- Aplicações médicas: uso terapêutico e de diagnóstico dos raios X e das radiações nucleares.</p> <p>3- Energia nuclear: emissão de substâncias radioactivas, normalmente após um acidente.</p> <p>4- Armazenamento de resíduos nucleares: sob o solo, à superfície, no fundo do oceano.</p> <p>5- Precipitação radioactiva (como uma consequência das explosões nucleares).</p> <p>6- Algumas aplicações da radiação ionizante em pesquisa científica e industrial (ex: traçadores).</p>
Categoria II (menos importantes)
<p>7- Outras aplicações industriais (pesquisa, esterilização, medição e controlo).</p> <p>8- Consequências imediatas das explosões de armas nucleares.</p> <p>9- Radiações libertadas em centrais térmicas de energia.</p>

Segundo os peritos os critérios que foram adoptados, para a selecção de contextos, foram:

- o grau de envolvimento que as pessoas têm com os contextos
- cobrir a variedade de aplicações das radiações na sociedade
- a importância das implicações sociais

A natureza geral destes três critérios é a de que os alunos devem ter uma visão geral das aplicações que existem e que são importantes quer a nível pessoal quer a nível social.

Segundo Eijkelhof, deveriam ser considerados alguns critérios adicionais na selecção dos contextos.

- Familiaridade dos alunos com os contextos. Os alunos desenvolvem certas ideias e atitudes sobre contextos familiares que parecem ser muito fortes e resistentes à mudança. Assim, embora os contextos familiares possam ser usados na sala para promover a discussão e para providenciar oportunidades para ser aplicado o conhecimento científico podem, por outro lado, dificultar a mudança conceptual. As suas ideias prévias podem obstruir o desenvolvimento de visões mais científicas. Assim,

Eijkelhof considera que poderá ser útil incluir contextos que não sejam muito familiares, para os alunos poderem desenvolver melhor as ideias científicas e os modos de raciocinar.

- O grau de conhecimentos específicos necessários. Deverão ser analisadas as concepções alternativas, conceitos específicos e processos que tenham uma importância significativa num número elevado de contextos. Deste modo deverão ser preteridos os contextos que envolvem conhecimentos muito específicos.

Ao aplicar estes critérios aos domínios de contextos indicados na tabela 2.1., Eijkelhof, tirou as seguintes conclusões.

- a- O domínio de contexto 9 não deve ser incluído porque requer um conhecimento muito específico relacionado com os métodos de gerar electricidade.
- b- O domínio de contexto 8 trata dos efeitos que ocorrem quando uma arma nuclear explode. O significado social das explosões nucleares não pode ser negado mas o conhecimento de quão letais são estas armas não requer conhecimento científico detalhado. As principais consequências directas não se devem à radiação ionizante mas sim ao vento e às elevadas temperaturas.
- c- O domínio de contexto 7 contém uma aplicação que as pessoas podem encontrar na sua vida diária (irradiação de comida). Embora os alunos não pareçam estar familiarizados com este contexto, parece ser um contexto útil para promover discussões, com os alunos, sobre radiação ionizante.
- d- O domínio de contexto 6 não parece ter grande relevância social e pessoal, mas a abordagem dos traçadores pode ser útil na clarificação da distinção entre irradiação e contaminação.

No final, Eijkelhof propôs que os materiais curriculares deveriam focar principalmente os contextos dos domínios 1, 2, 3 e 4, e alguns dos domínios 6 e 7.

Relativamente aos conteúdos, os itens seleccionados pelos peritos foram classificados em dois grupos: conhecimento básico sobre física atómica e nuclear e protecção contra a radiação.

A tabela 2.2 lista os itens de matéria que foram recomendados pelos peritos em radiações, no trabalho de Eijkelhof.

Tabela 2.2- Itens recomendados pelos peritos em radiações

A. Conhecimento básico sobre física atômica e nuclear
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Estrutura do núcleo</i>: núcleo, próton, neutrão, número atômico, número de massa, isótopo, unidade de massa atômica - <i>Fontes radioactivas</i>: núcleos estáveis e instáveis, níveis de energia do núcleo, desintegração, actividade (Bq), curva de decaimento radioactivo, meia-vida; - <i>Radiação ionizante</i>: alfa, beta, gama e radiação de neutrões, raios X, natureza e propriedades destes tipos de radiações, espectro dos raios X; - <i>Detecção de radiação</i>: contador Geiger, placa fotográficas, câmara de fumo; - <i>Energia nuclear</i>: reacções nucleares, fissão nuclear, reacção em cadeia, princípios do reactor nuclear.
B. Conhecimento básico sobre a protecção contra as radiações
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Irradiação</i>: absorção, dose (Gy), interacção com a matéria viva, dose equivalente (Sv), influência da distância e do meio; - <i>Contaminação</i>: disseminação das substâncias radioactivas no ambiente e no organismo humano; - <i>Efeitos da radiação ionizante</i>: efeitos a curto e longo prazo de doses elevadas e baixas, efeitos somáticos e genéticos; - <i>Aspectos de segurança</i>: avental de chumbo, filmes, normas de radiação, princípios ALARA, medições de segurança.

Assim considerou-se o “trabalho” de Eijkelhof como ponto de partida para o estudo piloto.

2.3. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE RADIAÇÕES

Existem concepções alternativas sobre radiações e o risco que elas envolvem praticamente desde a descoberta das primeiras radiações ionizantes.

Imediatamente após a descoberta da radioactividade apareceram bandas desenhadas que sugeriam que os raios X podiam revelar o que quer que fosse (até empregadas a escutar atrás da porta) e anúncios que prometiam roupa interior à prova de raios X. Por outro lado, havia também falta de conhecimento e de preocupação com os efeitos nefastos das radiações ionizantes. Esta falta de preocupação era partilhada pelos cientistas que, na primeira década após a sua descoberta, manusearam os tubos de raios

X e o material radioactivo de ânimo leve, chegando-se a recomendar as propriedades dos raios X para promover a saúde, até que se constatou que alguns cientistas estavam seriamente afectados pelas radiações ionizantes (Weart, 1988).

Actualmente, observa-se uma situação inversa: qualquer acidente com material nuclear é anunciado na primeira página dos jornais de todo o mundo e o receio geral da radioactividade até influenciou a escolha dos nomes de algumas técnicas de medicina. Por exemplo, a técnica de diagnóstico médico que faz uso da ressonância magnética nuclear (RMN) é agora designada por imagiologia de ressonância magnética (IRM), omitindo-se o nuclear. Estudos sobre a percepção de risco (Slovic, Lichtenstein and Fischhoff, 1979; Slovic, Lichtenstein and Fischhoff, 1981; Van der Pligt, Eiser and Spears, 1986) confirmaram que muitas pessoas têm, hoje, convicções que os levam a associar riscos altos a tudo o que está ligado à palavra “nuclear”.

Embora a atitude das pessoas, em relação às radiações, pareça ter mudado, continua a verificar-se a existência de ideias diferentes das científicas. Lucas (1987,1988) em entrevistas ao público, verificou existirem baixos níveis de compreensão sobre o termo “radioactividade” e desconhecimento do intervalo de tempo em que o lixo radioactivo é considerado perigoso. Durant, Evans e Thomas (1989) relatam resultados semelhantes. Segundo estes autores só 65% dos interrogados discordaram da afirmação “o leite radioactivo pode ser tornado seguro fervendo-o”.

Atendendo a que as concepções alternativas dos estudantes podem influenciar a aprendizagem dos conceitos científicos é importante ter-se um conhecimento mais profundo sobre as fontes dessas concepções. Por um lado, é conveniente saber mais sobre as ideias comuns da população de forma a estarmos preparados para o tipo de noções que poderemos encontrar nos alunos. Por outro lado, se tivermos um conhecimento mais profundo da contribuição da influência social na persistência de certas ideias poderemos ir, mais facilmente, ao cerne do problema.

Assim sendo, começou-se por investigar o tipo de ideias que os estudantes podem encontrar em textos de artigos de jornais e anúncios, que abordem as radiações.

Pretendia-se que esta pesquisa servisse como orientação para o estudo das concepções alternativas dos estudantes.

Reportando-nos ao início deste capítulo, as questões de pesquisa nas quais a investigação sobre as concepções alternativas se baseou podem ser sumariadas do seguinte modo:

1- Quais são as concepções alternativas, sobre as radiações, que podem ser detectadas nas notícias e nos anúncios?

2- Quais são as concepções alternativas sobre radiações, mais reconhecidas pelos cientistas?

3- Em que medida estas concepções constituem um obstáculo para a avaliação dos benefícios e das consequências nefastas das radiações para a saúde?

2.3.1. IDEIAS SOBRE RADIAÇÕES VEÍCULADAS EM TEXTOS DE JORNAIS E EM ANÚNCIOS

Um dos modos de divulgar conhecimento científico à sociedade é a partir dos artigos que aparecem nos jornais e revistas. Contudo, tem-se verificado que os meios de informação não transmitem, sempre, as informações científicas da forma mais correcta. Assim, um dos objectivos que a escola tem de assumir é formar os alunos para que sejam capazes de ler, compreender e criticar estes textos (da Silva e Almeida, 1998). A detecção das concepções alternativas presentes nesses textos não só facilitará a concretização desse objectivo como também permitirá ao professor ter uma noção das concepções alternativas que a sociedade e os seus alunos apresentam.

Nesta secção começa-se por apresentar os resultados de alguns estudos e em seguida são apresentados os resultados obtidos através da análise de jornais e anúncios portugueses.

Literatura

Eijkelhof e outros pesquisadores realizaram um estudo sobre o uso dos termos radiação em jornais, na rádio e na TV, no contexto do incidente de Chernobil. (Eijkelhof e Millard, 1988; Lijnse, Eijkelhof, Klaassen e Scholte, 1990). É apresentado a seguir um resumo dos seus resultados.

Segundo estes autores foi possível verificar que:

- os termos “radiação”, “radiactividade” e “matéria radiactiva” não são diferenciados;
- os termos “actividade” e “dose (equivalente)” são usados indiferenciadamente;
- o termo “meia-vida” parece ser usado quer como o período activo (tempo de vida) durante o qual a substância retém a “radiação” ou “radiactividade”, ou como o período em que a actividade se mantém constante no nível máximo, após o que começa a decrescer;

- os efeitos da radiação são muitas vezes comparados aos do veneno. São usados adjectivos como “mortal” e “letal” para quantificar os termos. Os riscos são vistos como sendo muito superiores para as crianças;

- parece haver a impressão de que existe um nível de segurança abaixo do qual não há perigo mas acima do qual as consequências são realmente sérias.

Segundo estes autores, estas ideias não são exclusivas do caso Chernobil pois numa análise de artigos publicados sobre outros incidentes, em instalações nucleares, foram encontrados resultados semelhantes. Alguns dos incidentes estudados foram:

- acidente com a central nuclear de energia de Three Mile Island (USA)
- a colocação de resíduos nucleares em instalações militares U.S
- a contaminação com cézio-137 na Goiania (Brasil)
- outros incidentes no Reino Unido, China e Austrália.

Resultados semelhantes são relatados por Souza Barros (1989) numa análise dos textos publicados sobre o acidente em Goiania.

Ideias comuns nos jornais e anúncios portugueses

Atendendo a que os resultados dos estudos realizados nos outros países indicavam a existência de concepções alternativas nos *media* analisaram-se textos de jornais e anúncios portugueses, sobre radiações, com o objectivo de averiguar se elas existiam nestes textos.

Foi definido o ano 2004 para a selecção dos artigos, de modo a recolher textos actuais (a que os alunos que estão a frequentar o décimo ano podem ter acesso). A recolha não foi exaustiva visto o objectivo não ser a identificação de todas as concepções alternativas veiculadas pelos meios de informação mas apenas verificar se elas existiam.

Apresentam-se a seguir os resultados da pesquisa:

-“ radiactividade” e “substância radiactiva”

“Propagar-se-á a radioactividade através do subsolo?” (LNSF - Super Interessante, 2004).

“Oliveira do Hospital quer saber onde está a radioactividade” (FCECR - Diário de Coimbra, 2004).

- “radioactividade” e “actividade”

“E nós sabemos, porque já medimos, que a radioactividade aqui é dez vezes superior à permitida pela Comunidade Europeia” (CHAPI - Diário de Coimbra, 2004)

- “contaminação” e “irradiação”

“Israel começou ontem a distribuir comprimidos de iodo a pessoas que residem perto dos reactores nucleares do país para prevenir o risco de radiações em caso de danos nas instalações nucleares...” (ICTCI - Diário de Coimbra, 2004)

Nota - os comprimidos de iodo só servem para impedir a fixação do iodo radioactivo no organismo humano (ver anexo C.5).

-Todas as radiações electromagnéticas são perigosas

“As lentes Eye Protect da MultiOpticas protegem das ondas electromagnéticas” (Anúncio da MultiOpticas)

- O bronzado protege de uma queimadura suplementar

“Não vá em Branco para a Praia, prepare a sua pele contra as agressões solares” (Solário Elisabete)

- As antenas de comunicações móveis provocam doenças

“O responsável pelo Instituto Educativo de Lordemão contestou ontem a instalação de uma antena retransmissora de uma operadora de telemóveis a cerca de, sustenta, 50 metros da escola, por recear eventuais malefícios das radiações” (AECL - Diário de Coimbra, 2004)

Desta análise de artigos da imprensa e de anúncios que envolviam temas relacionados com radiações podemos verificar não só a existência de algumas concepções alternativas relacionadas com as radiações ionizantes, semelhantes às detectadas por Eijkelhof, mas também algumas relacionadas com as radiações não-ionizantes. Diante da influência dos meios de informação na formação da opinião pública, parece necessário que a escola ensine os alunos a fazerem uma leitura mais apurada e a terem um olhar mais crítico sobre este tipo de material.

2.3.2. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DOS ESTUDANTES DE CIÊNCIAS

Riesch e Westphal (citados em Eijkelhof, 1990) realizaram um estudo, com estudantes com cerca de quinze anos, sobre concepções alternativas relacionadas com a propagação da radiação ionizante e o transporte de fontes radiactivas. Os seus resultados são apresentados a seguir:

A- Propagação da radiação

- a. a radiação não se move em linha recta e pode, pelo menos parte dela, contornar objectos;
- b. a radiação pode ser reflectida, repelida ou “sugada” pelas substâncias;
- c. a radiação pode acumular-se na frente dos obstáculos.

B- Transporte de fontes radiactivas

Segundo estes autores foram encontrados três modelos para o transporte de substâncias radiactivas:

- a. “corrente/fluir”- São utilizadas comparações com uma corrente de água (modelo predominante);
- b. “equilíbrio”- A radiação é transportada pelo vento, movendo-se graças a partículas do ar, sendo libertada directamente no ambiente ou por objectos que previamente receberam a radiação.
- c. “partícula”- A radiação move-se demasiado depressa para contornar uma esquina, é atrasada pelo ar ou é destruída por “moléculas de energia em movimento”.

Os autores referem que os estudantes parecem confundir o transporte de fontes radiactivas com a própria propagação da radiação e que cerca de um terço dos inquiridos pensava que era necessário o ar ou outro meio para ocorrer a propagação das radiações.

Eijkelhof e Wierstra (Eijkelhof, 1990) estudaram como é que estudantes usavam conceitos científicos em diferentes contextos da vida real. Os seus resultados estão sumariados na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Comparação das ideias dos estudantes, sobre radiações, em cinco contextos

Aspectos	Contextos				
	Chernobil	Médico	Resíduos	Alimentos	R. Fundo
Familiaridade	Todos os estudantes	Todos os estudantes	Todos os estudantes	Alguns dos estudantes	A maioria dos estudantes
Perigo	Muito perigosas	Os raios X não são perigosos	Muito perigosas	Bastante perigosas	Não são perigosas
Origem	Reactor	Aparelho	---	Aparelho	Sol Chernobil
Natureza	“Aquilo”	Raios	“Aquilo”	Raios	“Aquilo”
Propagação	Vento	Como a luz	Água e o ciclo alimentar	Como o calor ou o som	Como um gás
Absorção	Conservação	Conservação Transmissão Reflexão	Conservação Transmissão	Conservação	---
Efeitos	Imediatos Cancro Genéticos	Imediatos Cancro Genéticos	Imediatos Cancro Genéticos	Imediatos Cancro Genéticos	---
Intervalo de tempo em que há perigo	Longo	Curto	Longo	Muito longo	---

As descrições das visões dos estudantes nestes contextos mostram aspectos do senso comum e informação incoerente. O papel desempenhado pelas noções científicas é pequeno ou inexistente visto as suas ideias sobre radiações ionizantes diferirem conforme o contexto em que estão integradas.

Os alunos apresentam alguma dificuldade em identificar a natureza das radiações em alguns contextos referindo-se a ela como “aquilo”.

Showers (1986) questionou estudantes, do ensino superior, sobre “mitos nucleares”. São apresentados a seguir alguns dos seus resultados.

- Cerca de 50% dos estudantes concordavam com a afirmação: “Embora seja improvável, uma central nuclear pode explodir como uma bomba nuclear”.
- Cerca de 40% pensavam que a radiação produzida pelo homem é mais perigosa do que a radiação natural.

- Cerca de 70% pensava que “ ao sermos expostos a radiações tornamo-nos radioactivos”.

Kaczmarek, Bednarek e Wong (1987) estudaram as concepções alternativas de alunos do segundo ano de Medicina, sem ensino formal em radiologia. São apresentados a seguir alguns dos seus resultados.

- Quase três quartos dos inquiridos acreditavam que objectos que estão dentro da sala de radiografias emitem radiação após o exame de diagnóstico ter terminado.

- 37%, dos inquiridos, pensavam que os materiais de contraste intravenoso eram radioactivos.

- Os estudantes acreditavam que os radioisótopos poderiam explodir.

Guerra, Barbosa e Praça (1998/99), estudantes do 5º ano do curso de Ensino de Física e Química da Universidade de Aveiro, efectuaram um estudo com alunos portugueses do 9º, 10º, 11º e 12º anos sobre concepções alternativas. Neste estudo foi possível detectar várias concepções alternativas sendo as mais vincadas, segundo os autores, as seguintes.

- A radiação artificial é mais prejudicial que a radiação natural.

- A radiação pode ser acumulada no corpo humano.

- Após a remoção da fonte radioactiva de um local, a radiação permanece por algum tempo.

Relativamente às radiações não-ionizantes só foi possível encontrar estudos com radiações visíveis (Guesne, 1978; Stead e Osborne, 1980; Eatons, Anderson e Smith, 1982; Goldberg e McDermott, 1983; Andersson e Karrquis, 1983; Anderson e Smith, 1986; Esgalhado e Rebordão, 1987; Featherstonhaug e Treagust, 1990; Leite e Sá, 1997).

Nestes estudos foi possível encontrar concepções alternativas do tipo:

- a luz percorre uma distância maior à noite;

- a identificação da existência de luz com o seu foco;

- a luz não se propaga indefinidamente.

2.3.3. A INCIDÊNCIA E A IMPORTÂNCIA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Com este estudo esperava-se ter uma ideia sobre as consequências práticas da avaliação feita pelas pessoas, atendendo às concepções alternativas manifestadas, sobre as aplicações das radiações e da sua percepção de risco envolvido.

A incidência perceptível das concepções alternativas

Na tabela 2.4 é apresentada uma tabela das concepções alternativas por ordem decrescente de incidência elaborada por Eijkelhof (1990), para as radiações ionizantes.

Tabela 2.4: Concepções alternativas apresentadas por ordem decrescente de incidência

1. Não é feita a distinção entre substância radiactiva e radiação.
2. Não é feita distinção entre actividade e dose de radiação.
3. A substância radiactiva é sempre perigosa.
4. A irradiação de um alimento torna-o radiactivo.
5. Uma central nuclear de energia pode explodir como uma bomba nuclear.
6. Um reactor defeituoso liberta radiação.
7. A radiação pode acumular-se no corpo.
8. Os limites de radiação são níveis de segurança: abaixo do valor indicado não há perigo, acima desse valor há perigo.
9. A irradiação de uma pessoa faz com que ela fique contaminada radiactivamente.
10. As substâncias radiactivas são sempre mais perigosas do que as outras substâncias.
11. Não é feita a distinção entre fontes radiactivas e fontes de raios X.
12. Após um acidente numa central nuclear de energia o ambiente é semelhante ao de Hiroshima após a explosão da bomba.
13. A radiação agarra-se aos objectos.
14. A radiação artificial é muito mais perigosa do que a radiação natural.
15. Um acidente numa central nuclear é sempre um acidente nuclear.
16. Após ser removida a fonte radiactiva a radiação permanece algum tempo.
17. O lixo radiactivo resulta somente de lixo das centrais nucleares.
18. A radiação flutua no ar como uma nuvem.
19. A radiação leva à impotência.

20. Após a meia-vida já não existe nenhum perigo.
21. A radiação é libertada somente através da fissão nuclear.
22. A radiação pode ser parada ou não (a absorção é 0 a 100%).
23. A radiação é reflectida por um ecrã como a luz.
24. A contaminação radiactiva pode ser eliminada por aquecimento ou tratamento químico.
25. A radiação flui à volta de um obstáculo como a água à volta de uma árvore.
26. A radiação ionizante pode ser parada por vácuo.
27. A radiação pode ser parada com uma contra-radiação (como dois jactos de água que colidem).

A importância destas concepções alternativas para a ponderação de risco

Segundo os peritos consultados por Eijkelhof:

a- as ideias comuns que estão relacionadas com a irradiação dos alimentos e das pessoas são vistas como um obstáculo importante na ponderação de risco (4, 9);

b- o mesmo se aplica para as concepções que mostram a existência de confusão entre as consequências de um acidente numa central de energia nuclear e a explosão de uma bomba nuclear (5, 12);

c- as concepções que dizem respeito a aspectos físicos relacionados com as fontes de radiação (6, 11) e absorção (22), sobre as fontes de lixo radiactivo (17), sobre os modos de combater contaminação radiactiva (24) e sobre os efeitos (19) foram consideradas menos importantes para a ponderação de risco.

Segundo este estudo as concepções alternativas mais importantes para a ponderação de risco devem-se a não haver a distinção entre os conceitos apresentados na tabela 2.5.

Tabela 2.5: *Distinções científicas importantes para a ponderação de risco*

1. Entre “radiação”, “radioactividade” e “substância radiactiva”.
2. Entre “irradiação e “contaminação”.
3. Entre “absorção”, “acumulação” e “parar” a radiação.
4. Entre “actividade” e “dose”, e as suas unidades.
5. Entre os efeitos de doses “baixas” ou “elevadas” de radiação.

2.3.4. SIGNIFICADOS ATRIBUIDOS PELOS ESTUDANTES DE CIÊNCIA A ALGUNS CONTEÚDOS CIENTÍFICOS

Atendendo à importância que determinados conceitos parecem ter na ponderação de risco Eijkelhof (1990) analisou os significados que os estudantes atribuíam a esses conceitos. Os seus resultados são apresentados a seguir.

A. Radiação

Os estudantes sentiam dificuldade em atribuir um significado a radiação. Era comparada ao calor e às ondas sonoras.

B. Contaminação de comida e pessoas

As respostas dos estudantes sobre a natureza e causas da contaminação radiactiva podiam ser classificadas em três grupos:

- a- devido a receber radiação;
- b- devido a receber radioactividade;
- c- devido às partículas radioactivas.

No caso da contaminação das pessoas para além destes aspectos também era referido o carácter contagiante das radiações. A contaminação podia ser transmitida por emissão de radiação, pela respiração de partículas radioactivas, pela respiração boca-a-boca, por transfusões de sangue, durante a gravidez, da mãe para o filho.

C. Limites de radiação

As respostas recaíam em três grupos:

- a- quantidade máxima que pode existir no ar ou comida, ou que alguém pode receber: “regulação”;
- b- quantidade máxima que alguém pode receber sem ficar doente ou que o corpo pode lidar: “fronteira”;
- c- quantidade em que a probabilidade de apanhar qualquer “coisa” é pequena: visão “probabilística”.

D. Radiactividade

Eram-lhe atribuídos dois significados:

a- radiação: é emitida ou libertada, passa através de paredes, é absorvida pelos alimentos durante a irradiação.

b- substância: os alimentos e o gás radão contém-na, ou uma porção dela.

Relativamente ao radão foram detectadas algumas ideias:

a- uma molécula tem uma certa quantidade de radiação que emite até a molécula ter decaído;

b- o radão é um tipo particular de radiação;

c- o radão e a radiação são entidades diferentes que actuam uma na outra.

2.4. PROBLEMAS ENCONTRADOS NO ENSINO DO TEMA RADIAÇÕES

Nas secções 2.2 e 2.3 apresentaram-se os estudos sobre a selecção de contextos e conteúdos e sobre o problema das concepções alternativas

Nesta secção, atendendo a que um dos objectivos pretendidos é a inovação nas estratégias usadas na educação sobre radiações são investigadas as práticas correntes usadas na leccionação deste tema e são apresentados alguns estudos sobre problemas de leccionação e aprendizagem.

Os trabalhos, nesta investigação, foram guiados pelas seguintes questões de pesquisa já referidas na secção 2.1:

1- Qual é a abordagem que os manuais escolares usam para leccionar o tema *Radiações*?

2- Quais são os problemas de leccionação e aprendizagem que foram detectados, ao ensinar o tema radiações no tópico Saúde?

2.4.1. O TEMA RADIAÇÕES NOS MANUAIS ESCOLARES

Um factor importante, na prática de leccionação, é o manual escolar, visto ser o material de apoio às aulas mais utilizado pela maioria dos professores.

Atendendo ao objectivo geral do nosso estudo analisaram-se alguns manuais escolares, portugueses, nos seguintes pontos:

- a. domínios de contextos e conceitos abordados;
- b. os significados atribuídos a conceitos básicos;
- c. a inclusão de, e a ênfase dada a concepções alternativas;
- d. o modo como são tratados os aspectos da segurança.

Como não se pretende descrever como este tópico é tratado em todos os manuais escolares de *Física* e *Química A*, para o primeiro ano, foram escolhidos alguns dos manuais escolares que abordam o tópico de um modo diferente. Os manuais estudados foram:

Química A

- Q1- Mendonça L. *et al.* (2003), Jogo de Partículas, Texto Editora
- Q2- Corrêa C. *et al.* (2003), Química, Porto Editora
- Q3- Menezes D., Curto M. (2003), Química, Lisboa Editora
- Q4- Daniel V. (2003), A Química no nosso Mundo, Constância
- Q5- Moraes A. M. *et al.* (2003), O Universo dos átomos, Didáctica Editora
- Q6- Paiva J. *et al.* (2003), 10Q (2003), Texto Editora
- Q7- Simões T. (2003), Química em Contexto, Porto editora
- Q8- Maciel N. *et al.* (2003), Eu e a Química, Porto Editora
- Q9- Dias da Silva M. H. *et al.* (2003), Velhos Rumos Caminhos Outros, Plátano editora

- F1- Bello A. & Caldeira H. (2003), *Ontem e Hoje*, Porto Editora
- F2- Melo L. (2003), *A Física do Nosso Mundo*, Constância
- F3- Marques da Silva D. (2003), *Desafios da Física*, Lisboa Editora
- F4- Costa A. *et al.* (2003), *Ver +*, Plátano Editora
- F5- Marques de Sá M. T. (2003), *Física*, Texto Editora
- F6- Maciel N. *et al.* (2003), *Eu e a Física*, Porto Editora
- F7- Ventura G. *et al.* (2003), *10F*, Texto Editora
- F8- Rodrigues, M., Dias F. (2003), *Física na Nossa Vida*, Porto Editora

2.4.1.1. DOMÍNIOS DE CONTEXTOS

As tabelas 2.6 e 2.7 apresentam os domínios de contextos que foram explorados nos manuais analisados. Considerou-se que era suficiente um parágrafo, uma actividade ou qualquer referência mínima a um dos aspectos CTS das radiações para que essa referência fosse contabilizada. Ou seja, foi considerada qualquer referência a aplicações das radiações, mesmo que não permita analisar a complexidade das interacções entre a ciência e a tecnologia, pois, de algum modo, faz-se referência à utilidade das radiações.

Química A

Tabela 2.6 – Domínios de contextos presentes nos manuais de Química A (primeiro ano)

Domínios de contextos		Manuais escolares de Química A								
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
Saúde		3	3	4	4	4	4	4	4	4
Produção de energia eléctrica	Nuclear	4	2	2	4	4	4	4		1
	Fotovoltaica	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Armas nucleares			1	2	4	3	1		1	3
Indústria		2			1		1		1	1
Agricultura		2							1	3
Cosmos		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Arqueologia/Geologia		3	2	4		2	1	2	4	4
Atmosfera		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Telecomunicações		2	1		4	2	1	2	4	4
Produção de energia térmica	Colectores S.									
	Microondas	2	1		3	3	4	4	4	3

Legenda: 1- breve referência; 2- integrado no texto; 3- texto desenvolvido; 4- actividades

Física A

Tabela 2.7 – Domínios de contextos presentes nos manuais de Física A (primeiro ano)

Domínios de contextos		Manuais escolares de Física A							
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Saúde		2		2	1	2	1	3	2
Produção de energia eléctrica	Nuclear	4	2	3		2	2	3	3
	Fotovoltaica	4	4	4	4	4	4	4	4
Armas nucleares							1		
Indústria		2		1		2			
Comunicações		1					3	4	2
Cosmos		4	1	3	4	4	4	4	3
Atmosfera		4	3	1	3		3	3	1
Produção de energia térmica	Colectores S.	4	4	4	3	4	4		3
	Microondas				2	3			4

Legenda: 1- breve referência; 2- integrado no texto; 3- texto desenvolvido; 4- actividades

Outros contextos que foram referidos nos manuais analisados foram: construção de casas; detecção de armas; detecção de movimento; fenómenos meteorológicos; criminologia; detecção de notas falsas; iluminação.

As tabelas 2.8 e 2.9 apresentam os tópicos do domínio de contexto *Saúde* que foram explorados nos manuais analisados.

Química A

Tabela 2.8 – Tópicos do Domínio de Contexto Saúde presentes nos manuais de Química A (primeiro ano)

Tópicos do Domínio de Contexto Saúde	Manuais escolares de Química A								
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
Tratamentos Clínicos									
Radioterapia	X							X	
Cirurgia	X					X	X	X	X
Radiofármacos								X	
Dermatologia								X	
Meios de diagnóstico									
Gamagrafia	X					X			
Cintigrafia	X	X			X	X			
Termografia	X					X			
Radiografia	X	X		X				X	X
TAC	X								X
IRM									X
PET									X
Esterilização	X								
Medidas de segurança									
Símbolo de Substância Radioactiva/laser				X		X		X	X
Protecção solar Factor de Protecção	X	X	X	X	X	X	X	X	
Efeitos									
Prejudiciais	X	X	X	X	X	X	X	X	
Benéficos		X			X		X	X	X

Física A

Tabela 2.9 – Tópicos do Domínio de Contexto Saúde presentes nos manuais de Física A (primeiro ano)

Tópicos do Domínio de Contexto Saúde	Manuais escolares de Física A							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Tratamentos Clínicos								
Termografia					X			
Fisioterapia					X			
Cirurgia				X	X			
Dermatologia							X	
Meios de diagnóstico								
Radiografias						X	X	X
Medidas de segurança								
Símbolo de S. Radioactiva	X						X	X
Efeitos								
Prejudiciais	X		X				X	
Benéficos			X				X	

A análise dos manuais escolares sobre o uso de contextos mostra o seguinte:

A maioria dos manuais incluídos no conjunto que foi analisado foca várias aplicações para além das propostas no programa, não só no texto como nas actividades propostas.

Os itens de matéria referidos na tabela 2.2 podem agora ser comparados com os conteúdos dos manuais acima mencionados. Podem ser tiradas as seguintes conclusões dessa análise:

- só parte dos itens referidos na parte A da tabela (conhecimento básico sobre física atómica e nuclear) é encontrada nos manuais;

- a maioria dos itens referidos na parte B da tabela (conhecimento básico sobre protecção contra a radiação) não aparece nos manuais; excepções são as referências feitas aos símbolos de perigo, embora muitos manuais os apresentem sem explicar o seu significado.

Relativamente ao tópico Saúde, existem várias referências às aplicações das radiações mas o único contexto que é desenvolvido, na maior parte dos manuais, é *Protecção contra as radiações solares*.

2.4.1.2. CONCEITOS ABORDADOS

Significados dos conceitos

Na tabela 2.5 apresentou-se as distinções científicas que Eijkelhof detectou não existirem nos alunos, no quadro da radiação ionizante. Conceitos importantes eram radioactividade, actividade, radiação (ionizante), absorção, dose e meia-vida. Na análise dos manuais portugueses, de *Física e Química A*, procurou-se identificar os significados atribuídos a alguns desses termos.

A. Radioactividade

O significado *fenómeno* foi encontrado em vários manuais.

Q3, p.70 : “(...), os elementos sofrem uma transformação espontânea dentro do seu próprio núcleo que resulta na formação de novos elementos e de radiação com energia elevada. Esse fenómeno é chamado radioactividade.”

Q5, p.50:“(...) alguns átomos têm núcleos radioactivos, isto é, núcleos instáveis que se transformam espontaneamente noutros.”

Q4, p.73:”A radioactividade é a emissão espontânea de partículas nucleares e de radiações que podem ser do tipo α , β ou γ .”

Q8, p.76; Q2, p.98

Só num dos livros é que encontrámos uma descrição de radioactividade que poderia levar a confusão entre radioactividade e radiação:

Q5, p.57:“(...) as radiações γ correspondem a uma forma de radioactividade”

Deve ser referido que alguns livros usam o termo “radioactividade” mas não dão uma definição deste conceito.

Alguns manuais dão descrições ou definições mas depois usam o termo em sentidos diferentes. Um exemplo é o Q5 que usa dois significados diferentes.

B. Actividade

O termo actividade não é usado em nenhum dos manuais analisados.

C. Meia-vida

Identificaram-se duas interpretações diferentes do termo “meia-vida”. A primeira refere-se ao *número de átomos que decaem* a segunda refere o *decréscimo de massa da espécie radiativa*.

Q3, p.72 : "O período de semidesintegração ($t_{1/2}$) de um elemento radioactivo é definido como o período de tempo necessário para que metade dos átomos presentes numa amostra sofram desintegração nuclear"

Q9, p.40: "O tempo necessário para que metade de uma amostra decaia é designado por tempo de meia vida, ou, simplesmente, meia-vida, $t_{1/2}$ "

Q6, p.65: "A meia-vida é o tempo necessário para uma espécie se reduzir a metade da massa inicial"

D. Radiação

Nos manuais identificaram-se quatro definições diferentes do conceito radiação:

- *forma de energia;*
- *transferência de energia;*
- *campos eléctricos e magnéticos oscilantes que se espalham em todas as direcções;*
- *fluxo de partículas sem massa.*

F4, p.53: "A radiação é uma forma de energia em trânsito que se propaga através de ondas electromagnéticas (...)."

F2, p.19: "A radiação é um processo de transferência de energia que não necessita de meio material para se propagar, ou seja, propaga-se no vazio."

F4, p.35: "A transferência de energia sob a forma de radiação é efectuada por ondas electromagnéticas e não necessita de um meio material para a sua propagação".

Q4, p.77: "A radiação é a forma como a energia se propaga no vazio."

Q2, p.106: "Denominam-se radiações por se espalharem ou irradiarem em todas as direcções. São devidas a campos eléctricos e magnéticos oscilantes."

Q2, p.225: "O termo radiação resulta do facto de a luz se espalhar ou irradiar em todas as direcções (...)."

Q4, p.81: "A radiação electromagnética pode ser descrita como um fluxo de partículas sem massa, que se movimentam à velocidade da luz descrevendo uma trajectória ondulatória."

E. Absorção

O termo “absorção” é usado como transferência de energia para a matéria que interage com a radiação.

F. Dose

Muitos manuais evitam o termo “dose” e nenhum o define.

Foi possível encontrar duas referências com significados diferentes:

- *quantidade de radiação*;
- *quantidade de substância radiativa*.

Q8, p.86:“(…) a radiação UV, em doses moderadas também é benéfica ao ser humano (…)”

Q9, p.48:“(…) pequenas doses de isótopos radioactivos como o ^{198}Au (….) podem ser introduzidas na região cancerosa.”

G. Irradiação

Embora já tenham sido relatados problemas existentes devido à inexistência de distinção entre irradiação e contaminação penso que, em Portugal, vamos encontrar outro problema. Na língua portuguesa irradiação significa *emitir radiações* mas, em Física, “irradiação” significa *radiação incidente*. Assim foi possível encontrar os dois significados nos manuais analisados.

F8, p.95:“Todos os corpos irradiam energia (…)”

F4, p.18:“O Sol irradia (…)”

Q9, p.48:“conservação dos alimentos por irradiação”

H. Partícula

O uso impreciso do termo “partícula” para muitos fins (pó, átomo, molécula, radiação alfa e beta, nucleão, fóton, na definição de centro de massa) pode dificultar a distinção de certos conceitos.

Q7, p.53:“(…) um fóton produz uma partícula de matéria (…)”

Q4, p.73:“(…) de partículas nucleares (…)”

Q6, p.163:“(…) de partículas carregadas (…)”

Q7, p.78:“(…) partículas de luz (…)”

Q4, p.81:“(…) um fluxo de partículas sem massa (…)”

Q1, p.170:“As partículas absorvem as radiações solares, utilizando a sua energia para quebrar ligações dentro das moléculas ou para ionizar átomos ou moléculas.”

Tipos de radiações

Foi também efectuada a análise dos manuais relativamente às referências feitas no que diz respeito a alguns tipos de radiações. Os resultados são apresentados nas tabelas 2.10 e 2.11.

Química A

Tabela 2.10- *Análise das referências feitas a radiações (cósmicas, de fundo, α e β) presentes nos manuais de Química A (primeiro ano)*

	Raios Cósmicos	Radiação Cósmica de Fundo	Raios α	Raios β
Q1	X	X	X	X
Q2	X			X
Q3	X		X	X
Q4		X	X	X
Q5		X	X	X
Q6			X	
Q7		X		X
Q8	X	X	X	X
Q9	X	X	X	X

Física A

Tabela 2.11- *Análise das referências feitas a radiações (cósmicas, de fundo, α e β) presentes nos manuais de Física A (primeiro ano)*

	Raios Cósmicos	Radiação Cósmica de Fundo	Raios α	Raios β
F1				
F2				
F3		X		
F4		X		
F5				
F6				
F7		X		
F8	X			

Embora vários manuais de Química refiram os *Raios Cósmicos*, os *Raios α* e os *β* são poucos os que explicam a sua natureza e os classificam como radiações.

Nenhum manual deu especial atenção ao facto dos *Raios Cósmicos* e da *Radiação Cósmica de Fundo* apresentarem designações semelhantes podendo facilmente ser confundidas pelos estudantes.

2.4.1.3. INCLUSÃO E/OU ÊNFASE DADA A CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Nesta secção são apresentados alguns exemplos de concepções alternativas e de frases que poderão ser incorrectamente interpretadas levando ao aparecimento de concepções alternativas, identificadas nos manuais escolares.

1- “radiação” e “radioactividade”

Q5, p.57:“(…), as radiações γ correspondem a uma forma de radioactividade”

2- “radiação” e “força”

Q6, p.58:“(…), o equilíbrio entre a pressão gravitacional (para dentro) e a pressão da radiação (para fora) se romper, o Sol começará a diminuir a sua temperatura, e a aumentar a sua luminosidade, (...)”

Q1, p.134: "Pensa-se que os gases que predominavam na nebulosa primitiva que deu origem ao Sistema Solar (...), foram lançados para as zonas exteriores do Sistema Solar pelas radiações e pelo vento solar emitidos pelo jovem Sol."

Q9, p.118: "A partir deste momento, a vida da estrela é decidida pelo confronto entre estas duas forças: a força da gravidade que tende a comprimi-la e a força da radiação que tende a expandi-la"

Embora se possa falar de "pressão de radiação" visto uma radiação possuir, além de energia, quantidade de movimento (ver anexo A) não parece adequado usar esta expressão neste nível de ensino, principalmente sem explicar o seu significado.

3- "radiação" e "som"

Q6, p.66 "(...) na Terra há radiações naturais ou artificiais (...). Ouvir música num rádio, ligar um forno de microondas (...) são apenas algumas das muitas actividades que envolvem radiações electromagnéticas."

4- "radiação" e "calor"

Q6, p.66: "Estas radiações (...) também podem prejudicar a qualidade de vida, como acontece na exposição solar em horas de intenso calor (...)"

Q4, p.77: "O calor é uma medida da energia transferida, espontaneamente, (...). Esta transferência de energia pode produzir-se de três formas diferentes: por condução, convecção e radiação."

Q4, p.85: "(...), a energia chega primeiro às moléculas que se encontram na parte exposta ao calor."

F8, p.131: "(...) as zonas perto do Equador recebem mais calor do Sol."

F8, p.66: "A radiação é o processo de transferência de energia radiante pelos corpos quentes."

Relativamente à energia radiante F8, p.21: "É a energia emitida pelos corpos a «elevadas» temperaturas, constituindo a luz e outras radiações"

5- As radiações solares fazem mais mal na praia

Q6, p.164: "Mas todas as pessoas devem ter cuidado com a exposição ao Sol. Principalmente na praia, há que evitar a exposição directa da pele à radiação solar nas horas de maior calor."

6- A radiação solar é menos perigosa quando o tempo está encoberto

F2, p.10: "Quando o tempo está nublado ou durante a noite, não há produção de energia solar."

7- A radiação tem uma trajectória ondulatória

Q4, p.81: "A radiação electromagnética pode ser descrita como um fluxo de partículas sem massa, que se movimentam à velocidade da luz descrevendo uma trajectória ondulatória."

8- "radiação" e "matéria"

F8, p.95: "Este fenómeno sente-se quando a luz solar nos aquece. O que não se detecta com facilidade é que essa energia também irradia. Isto porque a radiação incidente num corpo (ou superfície) pode ser, parcialmente, absorvida, reflectida e transmitida."

9- A radiação artificial é mais perigosa do que a radiação natural

F8, p.10: "A acção biológica das radiações ionizantes provoca doenças cancerígenas e destrói o sistema imunológico. A poluição atmosférica causada pelas substâncias radioactivas libertadas em acidentes nucleares é a causa de muitas doenças mortais. Apesar disso, existem numerosas centrais nucleares dispersas pelo Mundo."

A maioria das concepções alternativas detectadas é fortemente semelhante às concepções encontradas nos jornais e entre os alunos; contudo, existem algumas novas como as 2, 5, 6, 7.

Até agora referiu-se ideias comuns que foram incluídas sem intenção. Outro modo de incluir ideias comuns é usá-las deliberadamente por razões educacionais, por exemplo para discutir as diferenças entre estas concepções alternativas e as concepções científicas. Em alguns destes manuais que foram analisados encontrou-se exemplos deste tipo de utilização.

- "radioactividade" e "fissão"

Q5, p.52: "Enquanto as transformações nucleares aliadas à radioactividade são espontâneas, as reacções de fusão nuclear ou de fissão são reacções provocadas"

- “radiação” e “som”

Q5, p.57: “O som será uma radiação electromagnética?” (exercício)

- O nuclear é mau

Q6, p.62: “O «nuclear» é mau?”

F5, p.20: “Se considerarmos duas centrais, a carvão e urânio, de igual potência, as doses de radiação absorvida pela população, na vizinhança de uma e de outra, são praticamente iguais. A situação é obviamente muito diferente em caso de acidente grave.”

F8, p.11: “O carvão (...). Liberta para a atmosfera (...) além de poluentes radioactivos e cinzas.”

- As radiações solares chegam à Terra mesmo nos dias encobertos

F2, p.56: “A energia proveniente do Sol chega todos os dias à Terra, mesmo nos dias mais nebulados, sob a forma de radiações electromagnéticas.”

- “Radiação” e “calor”

F4, p.74: “Calor e radiação foram no passado considerados a mesma forma de transferir energia (...). No entanto, para além da diferença relativa aos meios de propagação das duas formas de energia em trânsito, existe uma diferença mais marcante e que advém da própria definição de calor (...) energia que é transferida, devido às diferença de temperatura, de um corpo mais quente para um corpo mais frio, até ser atingido um equilíbrio térmico.”

- As radiações que provocam o aparecimento do bronzeado na pele têm efeitos prejudiciais.

F7, p.37: “Os fabricantes das unidades de bronzeamento alegam que elas são menos prejudiciais do que o Sol, uma vez que filtram a chamada radiação ultravioleta do tipo B (...). Acontece que também as radiações ultravioleta do tipo A (...) estão na origem de alguns tumores de pele (...).”

Q2, p.241: “O bronze, que torna as pessoas mais velhas ..., passou de moda.”

- A irradiação não torna os alimentos radioactivos

Q9, p.48: “Determinadas doses de radiação destroem bactérias e enzimas, responsáveis pela deterioração de certos alimentos. Estes não ficam radioactivos,

embora se argumente que possam sofrer transformações que originem compostos prejudiciais ou que alterem o seu valor nutricional.”

- O que acontece com as radiações?

Q5, p.137:” A um local mais afastado de um aquecedor de infravermelhos chega menos energia. Porquê? Perde-se pelo caminho? Leva mais tempo a chegar lá? Espalha-se num volume de ar maior?” (Actividade)

- Concepções alternativas sobre radiações solares

Q7, Unidade 2, APSA 5, Livro de actividades, p.100- Apresenta uma actividade dedicada à análise de mitos sobre as radiações.

“ 1- O Sol, na Primavera e no Inverno, não é perigoso.

2- As crianças devem ser protegidos do sol de uma forma especial.

3- Deve ter-se em conta a reflexão da radiação UV na areia e na água.

4- Quanto mais morena(o) mais bonita(o).

(...)

6- É necessário ficar exposto(a) ao sol para se formar a vitamina D no nosso organismo.

7- Ninguém se pode queimar enquanto está a tomar banho de mar.

8- Quanto maior for a altitude a que se está, mais o sol queima.

(...)

11- Não se fica bronzeado(a) num dia encoberto.

12- Quando se põe creme solar, não há limite de tempo para estar ao sol.

(..)

14- Se não se sentir calor quando se está ao sol, não se apanha uma queimadura.

16- Os efeitos negativos de uma queimadura ao sol são cumulativos.

17- Um bronzeado protege de uma queimadura suplementar.”

Alguns manuais apresentam concepções alternativas que embora não estejam directamente relacionadas com as radiações achou-se importante transcrevê-las.

- A Química é má

Relativamente ao nome “químico” Q9, p.24:”Deve ser coisa má!”

Q5, p.133:”Muitas pessoas pensam que certas substâncias são mais perigosas se forem feitas em laboratório ou industrialmente do que se forem naturais.” (Actividade)

Q2, p.77: "Poderão os críticos argumentar que os químicos e a Química são os responsáveis pelas chuvas ácidas, pela contaminação das águas e do ar, pelo efeito de estufa e pela destruição da camada de ozono. Estas tragédias (...) são consequências de um desenvolvimento selvagem, de um consumo exagerado, (...). Mais uma vez, serão os químicos chamados a resolver estes problemas, detectando e quantificando a poluição, inventando métodos para a combater, (...)"

Q5, p.133: "Algumas pessoas atribuem malefícios aos «químicos», isto é, produtos químicos, esquecendo-se de que somos feitos de substâncias químicas ..." (Actividade)

Q6, p.10: "A química é por vezes conhecida por alguns dos seus aspectos negativos. Expressões como «poluição química» ou «guerra química» são disso exemplo. Mas não podemos dizer que a química, como qualquer outra ciência, seja má ou boa em si mesma. O que determina a utilidade da química é o uso que dela se faz."

2.4.1.4. ASPECTOS REFERENTES AO RISCO

São poucos os manuais que referem aspectos de risco e segurança (tabelas 2.8 e 2.9) quase nenhuma ênfase é dada aos aspectos da protecção contra a radiação. Embora sejam focados nestes manuais, vários efeitos das radiações na saúde, tal só é feito de um modo narrativo. Quase não existem actividades que incluam os efeitos que as radiações têm na saúde. Fica-se com a sensação de que os aspectos de segurança relacionados com as radiações não são considerados importantes.

Assim não é de esperar que os alunos estejam preparados para avaliar o risco das radiações após estudarem estes manuais. Os alunos que trabalharem com estes manuais provavelmente estarão informados sobre as interacções elementares da radiação com a matéria mas não estarão familiarizados com os efeitos que a exposição a radiações pode ter nos seres vivos ou com a eficácia das várias medidas de segurança.

2.4.2. PROBLEMAS ENCONTRADOS AO ENSINAR O TEMA RADIAÇÕES

As opiniões e as aprendizagens dos alunos relacionados com este tema já foram apresentadas na secção 2.3. Mas que problemas poderão surgir ao ensinar este tema? A resposta a esta questão poderá ser útil para dar indicações para a formação de professores e levar a sugestões para a elaboração de novos materiais de apoio.

As questões de pesquisa utilizadas, nesta investigação, foram:

- Qual é a opinião dos professores sobre a leccionação do tema *Radiações* no tópico da saúde?
- Quais são os problemas de leccionação e aprendizagem que foram detectados, no ensino do tema *Radiações*?
- Poderá o desconhecimento das pesquisas efectuadas sobre as concepções alternativas afectar o desempenho dos professores?

2.4.2.1. AS EXPERIÊNCIAS DOS PROFESSORES COM A LECCIONAÇÃO DE RADIAÇÃO TENDO EM ATENÇÃO OS EFEITOS NA SAÚDE

Os resultados apresentados a seguir referem-se a um estudo realizado por Eijkelhof (1990), com professores, sobre a leccionação da unidade *Radiação ionizante* (Projecto PLON) excepto um que será oportunamente referenciado.

A. Aspectos positivos

O tema é de um modo geral bastante apreciado pelos professores porque é actual e permite aproveitar as questões que os alunos têm sobre radiações. Os alunos ficavam mais conscientes da natureza e do tamanho do grau de risco das radiações e aprendiam a distinguir entre situações em que o receio é justificado daquelas em que não é.

Os professores ainda referiram que esta abordagem do tema *Radiações* fornecia uma orientação para uma formação mais avançada e ocupações futuras, especialmente no sector médico.

B. Problemas gerais da leccionação

Os professores manifestaram ter tido alguma dificuldade em lidar com a elevada quantidade de conceitos e unidades e a utilização de termos médicos (somático, genético, mutação, leucemia, tumor).

Por vezes era difícil promover o debate porque os alunos pareciam pensar que algumas situações sobre as quais se deviam manifestar nunca lhes iriam acontecer e que não se devia questionar o conselho do médico.

Louro (2001) detectou, ao entrevistar professores portugueses, que a Área temática de opção “Radiação e Ambiente” (dos antigos programas do 3º Ciclo do Ensino Básico) não era escolhida por os professores não possuírem formação para leccionarem o tema *Radiações*.

C. Aspectos de risco

- Os alunos apresentam algumas dificuldades em fazerem avaliações ponderadas de risco;
- A maioria dos professores não sabia suficiente sobre a ponderação de risco;
- Os riscos a serem discutidos eram muito diferentes e não eram facilmente comparáveis em natureza e tamanho.

D. Concepções alternativas dos alunos

Alguns professores desconheciam a existência de concepções alternativas sobre radiações.

2.4.2.2. CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NOS PROFESSORES

Dada a importância do tratamento das concepções alternativas, para a aprendizagem têm sido realizados vários estudos sobre o assunto (Vasconcelos e Loureiro, 1988 e Cachapuz *et al.*, 1991). Há referência a várias origens para as concepções alternativas desde a linguagem do dia-a-dia, aos *media*, às percepções dos alunos dos fenómenos do quotidiano até às concepções alternativas dos professores, que foram “sujeitos” a um ensino que não as teve em conta (Shipstone, 1985; Cohen *et al.*, 1983; Gilbert e Zylbersztajn, 1985).

Cachapuz *et al.* (1991) realizou um estudo com professores estagiários, cujos resultados confirmam a hipótese de que os professores estagiários têm concepções alternativas sobre conceitos essenciais dos *curricula* de Física do E.B. e E.S.

Relativamente à luz foram detectadas, em 35% dos inquiridos, as concepções alternativas:

- identificação da existência da luz com o seu foco;
- a luz não se propaga indefinidamente.

Cria-se assim um ciclo vicioso, em que os próprios professores transmitem aos alunos as suas concepções alternativas.

2.4.2.3. PROBLEMAS ENCONTRADOS NA APRENDIZAGEM SOBRE RADIAÇÕES

O estudo realizado por Eijkelhof (1990), com professores, sobre a leccionação da unidade *Radiação ionizante* permitiu verificar que estes identificaram nos seus alunos problemas semelhantes aos que já haviam sido referidos, anteriormente, nos estudos realizados sobre as concepções alternativas, nomeadamente a dificuldade de distinguir certos conceitos.

1. radiação, radioactividade e substâncias radioactivas
2. irradiação e contaminação
3. absorver, acumular e parar a radiação
4. actividade e dose, e as suas unidades
5. efeitos de doses baixas e doses elevadas

Nesse estudo também foi possível detectar certos factores que podem estar por detrás das ideias comuns sobre os temas envolvidos.

A. Distinção entre radiação natural e radiação de fundo

Os alunos parecem ter dificuldade em perceber como é que a radiação que tem origem nos materiais de construção é natural visto que, para eles, o critério é a produção dos materiais de construção enquanto que, do ponto de vista científico, o critério é o facto de o radão, existente nos materiais de construção, ter origem em substâncias que se formaram na crosta terrestre. Por outro lado, os alunos tendem a considerar que esta radiação não acarreta nenhum risco, o que lhes é sugerido pelo termo “natural”.

De um ponto de vista científico, os dois termos não são idênticos, a radiação de fundo inclui a radiação da precipitação radioactiva que é formada após as explosões de armas nucleares e que são libertadas por centrais de energia nucleares.

B. A progressão linear da radiação;

Embora não traga normalmente grandes dificuldades alguns alunos pensam que quando esta atinge o organismo segue pelo sistema digestivo.

C. A distinção entre radiactividade e fissão nuclear

Alguns alunos pensam que a radiactividade só existe nos elementos com maior massa.

2.4.2.4. A PERSISTÊNCIA DAS IDEIAS COMUNS ENTRE OS ALUNOS

Já se verificou que existiam concepções alternativas sobre radiações mas, serão algumas concepções alternativas mais persistentes do que as outras? Fará alguma diferença o método de instrução usado?

Estudos com concepções alternativas noutras áreas mostraram que muitas preconcepções são resistentes à mudança, pelo menos quando expostos aos métodos tradicionais de instrução (Champagne, Gunstone e Klopfer, 1983).

Será útil analisar se existe alguma estratégia mais adequada para promover a mudança conceptual e averiguar quais são as concepções alternativas e os conceitos em que essa estratégia se deve centrar.

Procurou-se, assim, encontrar as respostas para as seguintes questões de pesquisa:

- Qual é o tratamento didáctico proposto para tratar o problema das concepções alternativas?

- Quais são as concepções alternativas e conceitos sobre radiação que são recorrentes entre alunos que estudaram o tema *Radiações*?

Sugestões da didática do ensino das ciências para resolver o problema das concepções alternativas

Strike e Posner (1985) são conhecidos pela importância que dão às concepções correntes dos alunos para gerar novo conhecimento. Segundo estes autores a alteração conceptual assenta em quatro condições que têm de ser cumpridas:

- 1- deve haver insatisfação com os conceitos existentes
- 2- o novo conceito deve ser inteligível
- 3- o novo conceito deve parecer plausível
- 4- o novo conceito deve ser proveitoso

Segundo Cachapuz (1995), as propostas dos pesquisadores para o tratamento didático das concepções alternativas envolvem duas fases articuladas:

- a) Desvalorizar a concepção alternativa pondo em evidência as suas limitações e a sua utilidade.
- b) Procurar que o aluno reconheça o valor da versão científica.

Esta estratégia, de duas fases, pode ser explorada de diferentes modos. A tabela 2.12 apresenta um resumo das propostas de três investigadores.

Tabela 2.12 – Modelos de para promover a mudança conceitual (Cachapuz, 1995)

Modelo de Mitchell (1984)	Modelo de Nussbaum e Novick (1982)	Modelo de Rowell e Dawson (1983)
<p>a) Explicitar antecipadamente aos alunos a natureza de potenciais concepções alternativas pertinentes para o tema em estudo, i.e, tipicamente referidas na literatura ou da experiência pessoal do professor, esclarecendo contradições em relação à versão científica</p> <p>b) Desmontar tais concepções alternativas, eventualmente com o uso de demonstrações experimentais simples, exemplos e contra-exemplos e sua discutível utilidade face à versão científica.</p>	<p>a) Construir uma situação (“<i>exposing event</i>”) que requeira do aluno o uso de suas concepções alternativas.</p> <p>b) Encorajar o aluno a descrever tais concepções verbal e/ou diagramaticamente, assistindo-o nesse processo de modo a alertá-lo para aspectos críticos das mesmas.</p> <p>c) Encorajar o debate de ideias em que os prós e contras de diferentes concepções alternativas de outros alunos sejam comparados.</p> <p>d) Expor o aluno a um acontecimento discrepante (“<i>discrepant event</i>”) desenhado de modo a gerar dissonância cognitiva em relação à(s) concepções alternativa(s) existente(s).</p> <p>e) Procura pelo aluno, com o apoio do professor, de uma solução que satisfaça a nova situação e a sua elaboração.</p>	<p>a) Uso de questões explanatórias para estabelecer ideias que os alunos consideram relevantes para a explicação de uma dada situação problema.</p> <p>b) As respostas dos alunos são aceites provisoriamente sem discussão pelo professor, analisadas e sistematizadas.</p> <p>c) A concepção científica é introduzida, articulando-se com informação já conhecida dos alunos.</p> <p>d) Os alunos aplicam o(s) novo(s) conceito(s) à resolução da situação problema proposta.</p> <p>e) Os alunos comparam criticamente os esforços feitos em (a) e (d), sendo assistidos nesse processo pelo professor de modo a evidenciara pontos críticos entre as alternativas em confronto.</p>

Concepções alternativas e conceitos sobre radiações

São apresentados a seguir os resultados de um questionário feito por Eijkelhof (1990) a alunos no último ano da educação pré-universitária, para analisar a persistência de concepções alternativas. Deverá ter-se em atenção que a sequência de concepções alternativas apresentadas não indica a sua incidência.

Concepções alternativas mais persistentes

A. Raios X

1. Os raios X permanecem durante horas no ar numa sala de raios X.
2. Os raios X deviam ser extraídos do ar para reduzir os riscos da radiação.
3. Os raios X permanecem na comida que é irradiada, por isso é perigoso durante algum tempo comer essa comida.
4. Após ter feito um exame com raios X estes raios permanecem no corpo durante meses.
5. Uma das razões porque os raios X são perigosos é por os raios serem transportados para o feto pelo sistema sanguíneo.
6. Os raios X têm efeitos no corpo humano que são muito diferentes dos produzidos pelas radiações nucleares.
7. Os raios X não são usados no tratamento do cancro.

B. Radiação nuclear

1. Após um acidente numa central de energia nuclear a radiação é espalhada pelo vento.
2. A radiação pode ser espalhada pelas correntes dos oceanos.
3. A radiação pode acumular-se no organismo humano.
4. A radiação pode ser armazenada na comida.
5. O período em que a radiação nuclear resultante de uma fonte externa permanece activa num paciente com cancro depende da meia-vida ou duração da irradiação.
6. Pacientes que são irradiados são perigosos para outros.
7. Pacientes a quem foi dado substâncias radiactivas não são perigosos para os outros.
8. Um duche ajuda a lavar a radiação.
9. A radiação nuclear não é usada no tratamento do cancro.

C. Radiação natural

1. O corpo humano é imune à radiação natural.
2. Substâncias radiactivas naturais não se encontram no ambiente.
3. A maior parte da radiação que um homem recebe em circunstâncias normais não tem origem em fontes de radiação naturais.

Significados atribuídos aos conceitos científicos

A. Radiactividade

A maior parte dos inquiridos parecia ter a ideia de que o termo radiactividade é sinónimo de radiação radiactiva.

B. Meia-vida

A maior parte dos alunos parecia não ter a noção de que a quantidade da substância radiactiva é reduzida a metade após o período de meia-vida.

Um número considerável de alunos parecia ter a ideia que cada núcleo tem uma certa quantidade de radiação sendo emitida metade dessa quantidade num período de meia-vida.

C. Contaminação radiactiva

1. A pessoa que é contaminada não contém substâncias radiactivas.
2. A pessoa que é contaminada é contaminada com radiações.
3. A pessoa que é contaminada contém demasiada radiação.
4. A pessoa que é contaminada tem muita radiação no sangue.

D. Dose de radiação

1. O termo dose de radiação significa “quantidade de radiação que é libertada”
2. O termo dose de radiação significa “quantidade de radiação que é realmente perigosa”
3. O termo dose de radiação não significa “quantidade de radiação que é recebida”

E. Limites de radiação

1. Uma dose de radiação de 0,5 Sv pode causar a morte em meses.
2. Só uma dose de radiação maior do que 50 Sv é que pode causar a morte no intervalo de tempo de alguns meses.
3. Desde que alguém receba menos do que a dose permitida anual ele ou ela não corre nenhum risco.

As primeiras duas afirmações referem-se à dose equivalente em que se espera que 50 % da população venha a falecer como consequência de efeitos agudos da radiação.

2.5. A PONDERAÇÃO DE RISCO

Neste capítulo aborda-se a ponderação de risco para tirar ilações que ajudem a atingir o objectivo proposto.

Até agora o termo “ponderação de risco” foi usado sem ter sido definido. No entanto, é importante esclarecer o seu significado para se compreender as opções metodológicas que são feitas nesta investigação.

Embora existam várias definições para o termo “risco” elas apresentam em comum a existência de duas componentes. A primeira pode ser caracterizada pelos termos “probabilidade”, “hipótese” ou “potencial”. A segunda pode ser caracterizada pelos termos “perigo”, “consequências adversas” ou “segurança” (Fischhoff, Watson & Hope, 1984).

O termo “ponderar o risco” é definido por Rowe (citado em Eijkelhof, 1990) como sendo “*O processo global de quantificar o risco e encontrar um nível desse risco que seja aceitável para o indivíduo, para o grupo ou a sociedade.*”

Segundo Kates (citado em Eijkelhof, 1990) existem três componentes na *ponderação de risco*:

a- a *identificação de risco*: que inclui a identificação dos eventos que o causaram, a observação e o reconhecimento de novos parâmetros de risco, o reconhecimento das novas relações existentes entre os parâmetros de risco, ou a percepção de uma alteração na magnitude dos parâmetros de risco existentes;

b- *estimar o risco*: engloba a determinação da magnitude das consequências e da probabilidade de determinados resultados;

c- *avaliação de risco*: consiste em desenvolver níveis aceitáveis de risco para o indivíduo e a sociedade; sendo um processo complexo pois engloba a percepção de risco, pesar efeitos adversos e benefícios e determinar a aceitabilidade de níveis de risco.

Atendendo à quantidade de parâmetros que estão envolvidos na ponderação de risco, é fundamental que se defina o grau de conhecimento que os alunos deverão ter, sobre os riscos associados às radiações, e os objectivos que se pretendem atingir no final da leccionação deste tema.

Tendo em vista o esclarecimento destes aspectos, realizaram-se algumas investigações. As questões utilizadas foram:

1- Quais são as maiores causas de ansiedade do público em geral sobre as radiações e as suas aplicações?

2- Quais são as diferenças existentes entre o modo de pensar, sobre as radiações, das pessoas comuns e dos cientistas?

3- Como é que os estudantes, antes da instrução formal, percebem os riscos das radiações?

4- A que aspectos os professores devem dar ênfase para responderem a este tipo de ansiedade?

2.5.1. CAUSAS DE ANSIEDADE EM RELAÇÃO ÀS RADIAÇÕES

Para responder à questão, “Quais são as maiores causas de ansiedade das pessoas em relação às radiações e as suas aplicações?”, Eijkelhof (1990) questionou peritos sobre radiações ionizantes tendo obtido os resultados sistematizados na tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Razões apresentadas, pelos peritos, para a ansiedade das pessoas relativamente à radiação ionizante, por ordem decrescente de importância

- 1- A natureza dos possíveis efeitos.
- 2- Falta de conhecimento.
- 3- Associação com armas nucleares.
- 4- Não ser possível detectar com os sentidos.
- 5- A influência da cobertura feita pelos *media*.
- 6- Falta de confiança no governo e nos peritos.
- 7- A ocorrência de acidentes.
- 8- Outras razões.

2.5.2. MODELOS CONCEPTUAIS

Segundo um estudo realizado por Eijkelhof (1990), os modelos conceptuais das pessoas comuns e a dos peritos para avaliar o risco das radiações são diferentes.

O modelo dos peritos baseia-se num modo científico de pensar, teórico-racional, que é usado para fazer uma análise racional da ponderação de risco associado a uma determinada situação.

O modelo das pessoas comuns baseia-se na noção de risco e nas suas ideias sobre medidas de segurança. A informação é assimilada com a finalidade de saber o que se deve fazer com as radiações, de modo a diminuir o perigo que elas colocam.

Em resumo, o modelo das pessoas comuns é pragmático e intuitivo e serve para as guiar na percepção de certos riscos e na interpretação da eficácia das medidas de segurança.

Segundo Covello (1984), as causas dessas diferenças podem ser sumariadas do seguinte modo:

a- as limitações intelectuais e a necessidade humana de diminuir a ansiedade levam, muitas vezes, à negação de risco e a simplificações não realistas de problemas essencialmente complexos;

b- excesso de confiança que pode produzir erros de julgamento graves, como subestimar o risco das actividades familiares;

c- o modo como é estimado o risco.

Na tabela 2.13 estão sumariadas as diferenças nos métodos de análise dos riscos entre os peritos e as pessoas-comuns.

Tabela 2.13 – *Diferenças nos métodos de estimar os riscos entre peritos e não-peritos (Covello, 1984)*

Peritos	Não-peritos
- dão igual peso a eventos singulares que podem custar muitas vidas de uma só vez ou múltiplos eventos que custam de cada vez uma única vítima.	- dão maior peso a um evento singular que custe muita vidas de uma só vez.
- dão igual peso a mortes estatísticas e conhecidas.	- dão maior peso a mortes conhecidas.
- dão igual peso a riscos voluntários e involuntários.	- dão maior peso a riscos involuntários.
- usam termos quantitativos para expressar os riscos.	- expressam os riscos em termos qualitativos,
- usam métodos computacionais e experimentais para identificar, estimar e avaliar os riscos.	- usam métodos intuitivos e impressionistas para identificar, estimar e avaliar os riscos.
- dão maior peso a estimativas quantitativas para tomarem decisões.	- dão igual peso a estimativas qualitativas e quantitativas.
- dão igual peso às diferentes maneiras de morrer.	- vêem algumas formas de morrer como sendo “piores” do que as outras.

Segundo Kasper (1979), os peritos tendem a ver as suas avaliações como sendo mais realistas e mais válidas contudo, por vezes, eles também se enganam (Slovic, Fischhoff e Lichtenstein, 1980). Segundo este autor, os peritos:

-falham em não considerarem como os erros humanos afectam os sistemas tecnológicos;

-têm excesso de confiança no conhecimento científico actual;

-são insensíveis ao facto de que os sistemas tecnológicos funcionam como um todo;

-são lentos a detectar efeitos ambientais crónicos e cumulativos;

-falham em antecipar as respostas humanas a medidas de segurança.

Assim peritos e não peritos podem ter contribuições válidas e a comunicação, entre eles, falhará se qualquer um dos lados não analisar todas as vertentes do problema.

Elementos característicos sobre a forma de raciocinar sobre as radiações

Segundo Eijkelhof, é possível encontrar dois modos de pensar, dentro do modelo apresentado, que se traduzem por um medo excessivo que leva à aplicação excessiva das regras de segurança ou, na situação oposta, um sentimento exagerado de segurança que leva ao incumprimento de certas regras de segurança por as considerarem desnecessárias.

Tabela 2.14: *Elementos características dos dois modos de raciocinar sobre as radiações* (Eijkelhof, 1990)

I - A radiação é perigosa

1. A radiação/radioactividade/matéria radioactiva é permanente: nunca atinge o valor zero e acumula-se no corpo; no caso de ocorrer contaminação não se pode fazer nada.
2. Os efeitos da radiação/radioactividade/matéria radioactiva são sempre perigosos, conduzem ao cancro e a outras consequências sérias.
3. Todas as radiações são perigosas, incluindo os raios X.
4. As medidas de segurança usadas, em cada situação, são um indicador de risco das radiações.
5. O conhecimento dos limites de radiação permitidos, em cada situação, tem um valor muito limitado pois qualquer quantidade de radiação tem um efeito prejudicial.
6. A radiação é perigosa porque passa através de tudo.
7. A radiação/radioactividade é perigosa porque não pode ser observada pelos sentidos humanos.
8. As consequências nefastas a longo prazo são incertas.

II – Os riscos das radiações são limitados

1. A radiação/radioactividade/matéria radioactiva decresce a longo prazo; no caso de ocorrer contaminação podem tomar-se algumas medidas.
2. Uma pequena dose de radiação será combatida pelos mecanismos de defesa do corpo humano.
3. Os raios X são muito diferentes da radiação, resultante de materiais radioactivos, e são menos perigosos.
4. As medidas de segurança são eficazes na redução do risco associado a uma determinada radiação.

5. Os limites de segurança indicam o nível de segurança: abaixo deles a exposição é segura.
6. A radiação pode ser parada por aventais de chumbo e paredes de cimento.
- 7 A radiação/radioactividade/matéria radioactiva pode ser medida.
8. Não se sabe muito sobre os efeitos da radiação.

Os critérios usados nessa avaliação são:

- a função da radiação na aplicação;
- a existência ou não de medidas de segurança;
- o tipo de medida de segurança.

Em resumo, foram detectadas nos estudantes formas de pensar que podem ser designadas como sendo do senso comum. Os estudantes tiram conclusões que lhes parecem lógicas porque foram baseadas na cultura comum. Este modo de pensar pode servir objectivos que são mais importantes e fundamentais do que ter uma visão correcta sobre determinados assuntos (Nisbett e Ross, 1980). Tais objectivos podem ser “sentirmo-nos seguros”. Assim, é possível que este raciocínio baseado no senso comum interfira seriamente com a aprendizagem, especialmente em contextos CTS.

2.5.3. COMO ABORDAR O RISCO DA RADIAÇÃO NA EDUCAÇÃO

Os estudos anteriores mostram que entre o público existe grande preocupação sobre as radiações (secção 2.2). Tendo em vista o objectivo deste estudo, isto levanta a questão de como os professores e os manuais deverão tratar este assunto.

Quando questionados sobre como se devia lidar com este tipo de ansiedade, os peritos consultados por Eijkelhof (1990) apresentaram as seguintes propostas:

1- Fornecer informação científica

ex: informação sobre radiação e sobre protecção contra as radiações.

2-Efectuar comparações com outros riscos

ex: comparar os riscos da radiação natural ou da de fundo, radiografias e os riscos de outras actividades humanas.

Contudo, alguns peritos apresentam algumas objecções às comparações de riscos, o que indica que se deve ter cuidado ao usar comparações de risco na

educação. Estas objecções dizem respeito não só às comparações de risco em geral mas também ao seu uso na educação.

3- Indicar como podem ser reduzidos os riscos

ex: inclui conselhos sobre comportamentos seguros e explicações sobre a fiabilidade das medições e regulamentos.

a- medidas políticas (inspecção, licenças, medidas de controlo);

b- princípios gerais da protecção contra as radiações (tempo, distância, ecrãs, ALARA, limites de doses, justificações);

c- prevenção e limitação da contaminação.

4- Tranquilizar

Deverá enfatizar-se que:

a- existem muitos resultados fiáveis;

b- a radiação ionizante pode ser medida com grande precisão;

c- a probabilidade de ocorrerem efeitos, na exposição a doses pequenas, é muito menor do que a estimada pelo público;

d- as leis são muito estritas;

e- nos locais relevantes o conhecimento necessário está disponível;

f- os riscos são controláveis, mesmo em casos de acidentes;

g- os *media* espalham o pânico sem ser necessário.

5- Outros aspectos

2.5.4. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS

No início da secção 2.5. mostrou-se que, embora o objectivo geral seja promover a avaliação ponderada dos benefícios e das consequências nefastas da utilização das radiações, era importante ser mais específico sobre os objectivos da aprendizagem sobre a ponderação de risco. Pretende-se que *os alunos sejam capazes de identificar alguns riscos de uma forma ponderada, isto é, não como os peritos mas como cidadãos informados, capazes de recolher e usar alguma informação objectiva para tomarem decisões.*

Assim, os objectivos não deverão ser muito ambiciosos. Numa análise realista Eijkelhof (1990), atendendo às sugestões dos peritos, propôs os seguintes objectivos:

- 1- os alunos devem ter a noção de que doses diferentes de radiação têm consequências distintas;
- 2- os alunos devem ser capazes de identificar alguns aspectos relevantes para determinar o grau de risco de uma radiação em determinadas situações;
- 3- os alunos devem ser capazes de avaliar a eficácia e as limitações das medidas de segurança para a redução dos riscos de radiação;
- 4- os alunos devem ser capazes de comparar as aplicações da radiação com outros métodos, para atingir o mesmo objectivo, que não usem radiações: analisar as vantagens e as desvantagens, tais como riscos, efeitos secundários, custos.

CAPÍTULO 3

ESTUDO REALIZADO COM OS ALUNOS

3.1. APRESENTAÇÃO

Com este estudo pretende-se investigar o interesse e o conhecimento que os alunos têm, no final do 10º ano de escolaridade, sobre as aplicações das radiações na saúde e caracterizar as concepções incorrectas sobre as radiações, no domínio da Saúde, que persistiram após o ensino do tema na disciplina de *Física e Química A*.

Esquema da pesquisa

Este estudo foi guiado pelas seguintes questões de investigação:

- 1- Quais são os domínios de contextos, em que são utilizadas radiações, que mais interessam aos alunos que estão a frequentar cursos de ciências?
- 2- Qual é o grau de conhecimento que os alunos, no ensino secundário, têm sobre as aplicações das radiações na Saúde?
- 3- Quais são as ideias incorrectas, sobre radiações, que podem ser encontradas nos alunos dos cursos de ciências?
- 4- Em que extensão é que estas ideias são um obstáculo para a ponderação dos riscos inerentes à utilização de radiações?

Metodologia

Em termos metodológicos, a implementação do trabalho envolveu duas fases.

1ª Fase

- i) Identificação das aplicações das radiações, em vários domínios, o que permitiu a definição de domínios de contextos que poderão ser abordados numa situação de sala de aula.
- ii) Identificação dos efeitos das radiações na saúde de modo a definir um conjunto de ideias incorrectas que poderiam constituir uma barreira à ponderação de risco.

A informação recolhida nesta fase é apresentada nos anexos de A a F e foi usada na elaboração do questionário e na análise das respostas dos inquiridos.

2ª Fase

Construção de um questionário e a sua administração aos alunos, do 10º ano, de duas escolas do Distrito de Viseu de modo a efectuar um estudo piloto sobre o seu conhecimento relativamente ao assunto.

Nas secções seguintes apresentam-se as opções metodológicas, o estudo piloto e os resultados do estudo piloto (respectivamente nas secções 3.2, 3.3 e 3.4). A análise dos resultados será feita na secção 3.5.

Espera-se que a análise dos resultados deste estudo possa contribuir para se extraírem indicações úteis para o desenvolvimento de estratégias, que os professores poderão utilizar, no seu dia-a-dia, na leccionação do tema *Radiações*.

3.2. OPÇÕES METODOLÓGICAS

Nesta secção, são descritas e fundamentadas as opções metodológicas tomadas, a fim de responder às questões de investigação que guiam este estudo.

No sentido de facilitar a leitura dos procedimentos, a presente secção foi dividida em duas partes:

Primeira parte - Modelo de análise

Segunda parte - Descrição do estudo

3.2.1. MODELO DE ANÁLISE

Formulação das hipóteses

Atendendo a que as hipóteses irão conduzir a investigação condicionando a selecção e a análise dos dados estatísticos foi necessário realizar, previamente, algum trabalho exploratório.

Lendo diferentes textos, fazendo sínteses cuidadas, e confrontado com atenção as notas de trabalho foi possível chegar às seguintes hipóteses de trabalho:

A- Atendendo a que hoje vivemos numa era em que somos bombardeados por informações relativas a novas descobertas de astros e de viagens espaciais, é de esperar que um dos domínios de contexto que mais interesse aos alunos seja o *Cosmos*.

Na formulação desta hipótese teve-se em particular consideração um estudo, realizado com estudantes holandeses (Eijkelhof, 1990), onde se verificou existir um interesse especial nos efeitos secundários da radiação ionizante; os tópicos mais populares eram a protecção da saúde, os riscos de radiação e os efeitos da radiação. Contudo, como este estudo foi realizado numa época em que se falava muito nos possíveis confrontos nucleares, e tinha ocorrido há pouco tempo o acidente de Three Mile Island (1979), é possível que os resultados tivessem sido afectados pela situação mundial. Como esse estudo também mostrou que os interesses dos rapazes eram diferentes dos das raparigas - a maioria das raparigas optavam pelo capítulo da saúde enquanto que os rapazes escolhiam a energia nuclear e as armas nucleares - neste estudo também é analisada a influência do sexo nas preferências dos alunos.

Atendendo a que se estava a considerar a hipótese de que a situação mundial vivida numa época poderia condicionar as respostas dos alunos, foram introduzidas duas perguntas para avaliar o receio que os alunos têm de certos acontecimentos em termos de consequências e de probabilidade de ocorrência. Se a situação mundial influenciar os dados, é de prever que os alunos tenham mais receio de um ataque com uma arma química ou com uma arma convencional por os considerarem mais prováveis, do que outros acontecimentos, visto assistirem frequentemente a notícias que envolvem estes dois tipos de ataques apesar de os poderem considerar menos perigosos em termos de consequências.

B- Os alunos do Ensino Secundário devem ter um grau de conhecimento sobre as aplicações das radiações na Saúde muito baixo porque este tópico raramente é abordado nos programas oficiais do Ensino Secundário.

É de esperar que o pouco conhecimento que possam ter resulte da experiência pessoal com uma determinada aplicação, como por exemplo as radiografias. Atendendo à literatura também é possível que alguns alunos confundam aplicações do som com aplicações das radiações pois comparam as radiações com ondas de som (Eijkelhof, 1990). Ficou resolvido que neste estudo também seria analisado este aspecto.

C- Atendendo à literatura (Eijkelhof, 1990) é de esperar que as ideias incorrectas, sobre radiações, com mais incidência entre os alunos dos cursos de ciências sejam:

1. A radiação/radiactividade/matéria radiactiva é permanente: nunca atinge o valor zero e acumula-se no corpo; no caso de ocorrer contaminação não se pode fazer nada.
2. A radiação é perigosa porque passa através de tudo.
3. Os raios X são muito diferentes da radiação (radiactiva) e são menos perigosos.
4. As medidas de segurança são eficazes na redução do risco da radiação.

E que não exista distinção entre:

1. “radiação” e “substância radiactiva”.
2. “irradiação” e “contaminação”.
3. “absorção”, “acumulação” da radiação.
4. “dose equivalente anual ” e “dose letal a 50%”.

D- Estas ideias serão um obstáculo para a ponderação dos riscos inerentes à utilização de radiações e irão condicionar a escolha das medidas de segurança adequadas a cada situação.

Como estas hipóteses se apresentam como respostas provisórias às questões de investigação serão submetidas à prova, através da análise dos dados recolhidos.

Modelo

O modelo seguido na formulação destas hipóteses está esquematizado a seguir.

Esquema 3.1 – *Modelo de análise*



Ou seja, segundo este modelo, a ausência de informação ou a aquisição de informação incorrecta irá conduzir à formulação de ideias incorrectas que irão afectar a ponderação de risco inerente a uma determinada situação. Esta avaliação incorrecta pode levar os indivíduos a optarem por medidas de segurança que não são eficazes na situação considerada, acarretando tal facto consequências nefastas para a saúde.

Tratando-se de um modelo hipotético-indutivo terá de ser confrontado com os resultados obtidos, para avaliar da sua veracidade.

3.2.2. SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO UNIVERSO EM ESTUDO

Atendendo às questões de investigação, o Universo em estudo seria constituído por todos os alunos portugueses que estivessem a frequentar o ensino secundário no ano lectivo 2003/04.

Contudo, devido às dimensões deste Universo e em face dos objectivos definidos para a Investigação, optou-se por estudar um Universo mais reduzido. Os critérios usados, na selecção deste novo Universo, foram os seguintes:

- os alunos deveriam estar a frequentar anos lectivos em que estivessem a ser leccionados os novos programas.
- o programa leccionado a esses alunos devia abordar o tema *Radiações*.

Os alunos que estavam nestas condições eram os alunos que frequentaram o 10º ano de escolaridade, no ano em estudo.

3.2.3. SELECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Seleção da amostra

Atendendo aos prazos, aos recursos de que se dispunha e à facilidade de contactos, com os professores e os Conselhos Executivos das escolas que participaram na Investigação, optou-se por administrar o questionário aos alunos, do 10º ano, de duas escolas do Distrito de Viseu de modo a efectuar um estudo piloto sobre o seu conhecimento relativamente ao assunto.

Apesar de terem sido disponibilizados 180 questionários dirigidos a alunos do 10º ano, o número final de respondentes foram 163.

A opção de só administrar os questionários aos alunos que frequentaram a disciplina de *Física e Química A* deveu-se ao facto de o tema *Radiações* ser abordado de forma extensa nesta disciplina. Os restantes alunos do 10º ano, no ano lectivo de 2003/04, frequentaram a disciplina de *Ciências Físico-químicas* com o programa antigo.

Como se pretendia recolher o máximo de informação sobre as concepções incorrectas dos alunos não foram seleccionados alunos, dentro de cada turma, para responder aos questionários e foram analisadas as respostas dadas por todos os alunos.

A vantagem de aplicar o questionário a alunos de duas escolas diferentes reside no facto de terem sido usados materiais de apoio e abordagens diferentes nas aulas, permitindo, deste modo, obter uma gama mais representativa de opiniões. Esperava-se ainda que, comparando os resultados obtidos nas duas escolas fosse possível analisar a influência dos materiais apresentados, na mudança de atitudes.

Caracterização da amostra

São apresentadas, a seguir, algumas das características da amostra.

A- Sexo

A caracterização da amostra utilizada, relativamente ao sexo, consta da tabela 3.1.

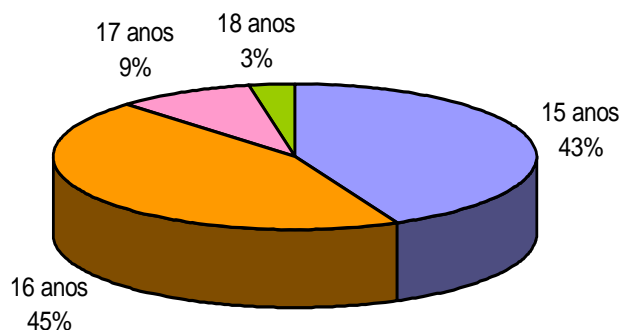
Tabela 3.1 -Amostra utilizada

	Escola A	Escola B	Total
Dimensão da amostra (S. Masc.)	43	19	62
Dimensão da amostra (S. Fem.)	71	30	101
Dimensão da amostra	114	49	163

Constatou-se uma predominância de inquiridos do sexo feminino

B- Idade

Gráfico 3.1 – Distribuição da amostra em termos de idade (% de alunos)



Da análise do gráfico pode verificar-se que os alunos, que integram a amostra, se situam maioritariamente na faixa etária dos 15-16 anos. Esta distribuição, em termos de idade, indica que a maioria dos alunos teve um percurso normal, sem retenções.

3.2.4. O QUESTIONÁRIO

Após a formulação das questões de investigação e da selecção da amostra, foi necessário produzir um instrumento que permitisse recolher todas as informações necessárias para se poder responder às questões de investigação.

Assim atendendo aos objectivos da investigação, à dimensão e às características da amostra, aos recursos disponíveis e às capacidades de treino do investigador optou-se por utilizar um questionário como instrumento de recolha de dados. Por um lado, é um instrumento de recolha que apresenta uma construção muito precisa e formal e com uma grande aplicação prática. Por outro lado, como pode ser administrado a uma grande quantidade de inquiridos, facilmente minimiza o problema da representatividade do conjunto.

Estrutura do questionário

A versão integral do questionário é apresentada no anexo F. Neste capítulo optou-se, para conforto na leitura, por transcrever as questões à medida que os resultados de cada questão são apresentados (secção 3.4).

O questionário é constituído por quatro páginas, tipo A4. A primeira folha começa com um pequeno texto com a indicação dos objectivos do questionário. A seguir, são apresentadas algumas questões destinadas a recolher elementos para a caracterização da amostra, nomeadamente a idade e o sexo. Seguem-se três questões destinadas a averiguar o interesse dos alunos, sobre o assunto, e as razões desse interesse. Nestas questões, que apresentam um formato comum, é apresentada uma lista de cinco elementos. Para cada lista, pertencente a cada questão, pede-se que o inquirido situe cada elemento da lista numa escala, de 1 a 5, de acordo com um critério pré-definido. O valor 1 corresponde ao elemento a que é atribuída maior importância e o valor 5 corresponde ao elemento a que é atribuída menor importância. Na primeira questão os inquiridos poderão, ainda, acrescentar um outro elemento à lista. Ainda na primeira questão, é pedido que o inquirido justifique por que atribuiu o valor 1 a determinado elemento. E solicita-se ao inquirido que indique o que gostaria de saber sobre radiações, no tópico *Saúde*.

A quarta questão destina-se a investigar o conhecimento que os inquiridos têm sobre as aplicações clínicas das radiações. Nesta questão, são apresentadas várias aplicações e pede-se ao inquirido que seleccione entre três hipóteses: “a aplicação envolve a exposição do paciente a radiações”, “a aplicação não envolve a exposição do paciente a

radiações” e “desconheço”. Esta última hipótese foi acrescentada para evitar que os inquiridos seleccionem uma das outras hipóteses sem terem a certeza.

As seis questões seguintes destinam-se a detectar ideias incorrectas que possam dificultar a ponderação de risco.

Assim, na quinta questão o inquirido tem de escolher a afirmação que, segundo ele, melhor traduz o significado de uma afirmação.

Na sexta questão, é pedido ao inquirido que escolha as medidas de segurança que considera mais adequadas para uma determinada situação. Em seguida, pede-se ao inquirido que apresente as razões das escolhas efectuadas.

Ao se fazer o pedido de justificação estamos a colocar uma pergunta aberta. Poderia ter-se utilizado perguntas fechadas ou de escolha múltipla, mas nesse caso, era difícil assegurar que se havia tido em conta, no conjunto das respostas possíveis, todas as ideias correctas e incorrectas sobre o assunto.

A questão sete diz respeito ao conhecimento que os inquiridos têm sobre os diferentes tipos de radiações.

Na questão oito, tal como na questão cinco, procura-se averiguar sobre a interpretação que os inquiridos fazem sobre uma determinada afirmação. Nesta questão, os inquiridos poderão, ainda, acrescentar uma outra interpretação à lista

Na questão nove, é apresentada uma lista constituída por vários tipos de radiações e uma “substância radiactiva” e pede-se ao inquirido que assinale as hipóteses que considera correctas: “provocam doenças”, “curam doenças” e “são usadas para diagnosticar doenças”.

A questão dez destina-se a detectar ideias incorrectas sobre as radiações solares e os meios de protecção utilizados. É apresentada uma lista de afirmações e pede-se ao inquirido que as classifique de *correctas* ou *incorrectas*. Esta questão é a única que foi elaborada de modo a analisar a eficácia do material de apoio que foi criado para promover a mudança conceptual. Optou-se por não elaborar materiais de apoio para conteúdos que não estivessem definidos nos objectivos de aprendizagem do programa, porque iriam colocar um problema de representatividade, visto o número de alunos que estariam sujeitos a este tipo de ensino ser muito limitado.

A tabela 3.2 apresenta a estrutura do questionário que foi elaborado.

Tabela 3.2 - *Estrutura do questionário*

Questões	Topologia das questões	Objectivos das questões
	Questões destinadas à caracterização da amostra.	Caracterizar a amostra.
1.	Questão destinada a averiguar o interesse em diferentes domínios de contextos.	Conhecer o interesse que os inquiridos demonstram por diferentes domínios de contextos. Conhecer as razões que estes apresentam para justificar o seu interesse num determinado domínio de contexto.
2.	Questões destinadas a averiguarem a influência da situação mundial na avaliação do perigo e no interesse pelos diferentes domínios de contextos.	Averiguar se os inquiridos consideram mais prováveis os acontecimentos que são referidos mais vezes nos meios de comunicação.
3.		Averiguar se os inquiridos consideram mais nefastos os acontecimentos que são referidos mais vezes nos meios de comunicação.
4.	Questão destinada a investigar o conhecimento que os inquiridos têm sobre as aplicações clínicas das radiações.	Averiguar se os inquiridos conhecem os processos físicos que são utilizados no conjunto de exames clínicos apresentados.
5.	Questões destinadas a detectar ideias incorrectas que possam dificultar a ponderação de risco.	Averiguar qual é a opinião que os inquiridos têm sobre as razões que tornam uma exposição repetida, a radiações, perigosa para a saúde.
6.		Averiguar se os inquiridos fazem alguma distinção entre os perigos causados por uma substância radiactiva e os causados por uma radiação ionizante. Averiguar quais são as ideias incorrectas que dificultam a ponderação de risco.
7.		Averiguar se os inquiridos conseguem fazer a distinção entre radiações, substâncias radiactivas, som, magnetismo. Averiguar se os inquiridos estão familiarizados de igual modo com todos os tipos de radiações.
8.		Averiguar se os inquiridos conseguem distinguir os conceitos de dose letal em 50% e dose equivalente anual, sem um ensino formal sobre o assunto.
9.		Averiguar as ideias que os inquiridos têm sobre os efeitos positivos/negativos de radiações e substâncias radiactivas, na <i>Saúde</i> .
10.		Averiguar a persistência de ideias incorrectas sobre radiações solares, após o ensino formal sobre o assunto.

Construção das questões

Com base no que foi apresentado no capítulo 2, foram identificados os domínios de contextos que poderiam ser usados para leccionar o tema *Radiações* e as concepções alternativas que poderiam existir. Em seguida, seleccionou-se os assuntos que seriam abordados em cada uma das questões, de acordo com os seguintes critérios:

- a) - a sua relevância no programa de *Física Química A*, do 10º ano de escolaridade;
- b) – fazerem parte (alguns deles) do programa de *Biologia e Geologia*, do 10º ano de escolaridade.
- c) – reflectirem situações de risco que podem ocorrer no dia-a-dia de qualquer pessoa;
- d) – possuírem um elevado grau de importância para a manutenção da saúde de qualquer cidadão.

Procura-se, assim, ir de encontro à preocupação manifestada, nos actuais programas de Física e Química, de sensibilizar os alunos para o estudo das relações CTS.

3.3. ESTUDO PILOTO

O estudo piloto foi realizado, em Junho de 2004, com alunos do 10º ano de duas escolas do Distrito de Viseu.

3.3.1. OBJECTIVOS DO ESTUDO PILOTO

Permitindo a recolha de elementos que poderão contribuir para a elaboração de uma versão final de um questionário ou de um guião de uma entrevista que poderão ser usados em estudos posteriores, o Estudo Piloto teve como principais objectivos:

- Verificar a receptividade dos alunos ao tema.
- Verificar o grau de inteligibilidade das questões ou, simplesmente, de frases ou palavras.
- Verificar se deveriam ser introduzidos mais domínios de contextos sobre *Radiações*.
- Identificar as ideias incorrectas dos alunos de modo a facilitar a construção de uma tabela de categorias.
- Analisar se os materiais desenvolvidos sobre radiações solares foram eficazes a promover a mudança conceptual.

3.3.2. ADMINISTRAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Tratando-se de uma observação indirecta, teve que vencer-se a resistência natural e/ou a inércia dos inquiridos. Como as pessoas não estão forçosamente dispostas a responder, foi necessário criar uma atitude favorável para que estas respondessem francamente às perguntas e se obtivesse um conjunto de respostas que fosse considerado suficiente para validar o estudo. Assim, estabeleceu-se um contacto prévio com cinco professores da disciplina de *Física e Química A* e pediu-se-lhes que administrassem os questionários aos seus alunos e lhes explicassem porque a sua participação era importante.

Deste modo, o questionário foi administrado aos alunos pelo professor da disciplina de *Física e Química A*, em aulas normais (após ter sido obtida prévia autorização dos Conselhos Executivos das escolas participantes). No total, o questionário foi administrado a sete turmas porque um dos professores tinha duas turmas do décimo ano e porque a investigadora deste estudo também a administrou à turma que leccionava, do décimo ano.

3.4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta secção, são apresentados os resultados obtidos neste estudo. No sentido de facilitar a leitura dos resultados e a análise efectuada, a presente secção será dividido em três partes. Numa primeira parte são apresentados os resultados obtidos, com o questionário, para as questões relacionadas com o interesse dos inquiridos nos diferentes domínios de contextos e os motivos inerentes a esse interesse.

Na segunda parte, apresentam-se os resultados obtidos na questão que foi formulada com o objectivo de investigar o conhecimento dos inquiridos sobre as aplicações médicas.

Na terceira parte são apresentados os resultados obtidos para as questões relacionadas com as ideias incorrectas que possam dificultar a ponderação de risco.

Para a facilitar o tratamento dos dados foi construída uma “base de dados” no programa Microsoft Excel.

3.4.1. INTERESSE DOS INQUIRIDOS EM DIFERENTES DOMÍNIOS DE CONTEXTOS

Questão 1: “Numere os tópicos que acharia mais interessantes para serem abordados, mais aprofundadamente, no tema Radiações”

Com o objectivo de conhecer o interesse que os inquiridos demonstram por diferentes domínios de contextos, foi elaborada a questão 1 cujos resultados são apresentados na tabela 3.3 e no gráfico 3.2.

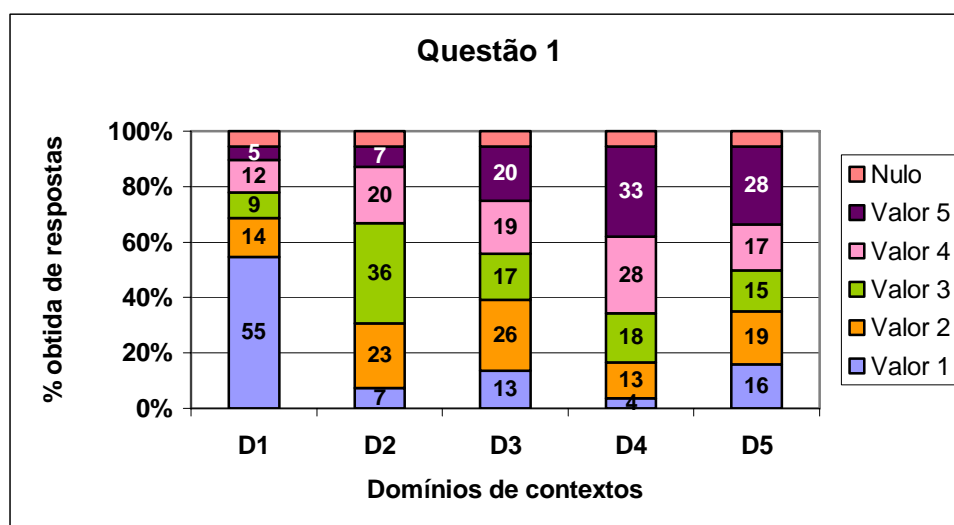
Tabela 3.3 – Resultados obtidos para a questão 1 (para toda a amostra)

D	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
D1	89	55	23	14	15	9	19	12	8	5	0	0	9	6
D2	12	7	38	23	59	36	33	20	12	7	0	0	9	6
D3	22	13	42	26	27	17	31	19	32	20	0	0	9	6
D4	6	4	21	13	29	18	45	28	53	33	0	0	9	6
D5	26	16	31	19	24	15	27	17	46	28	0	0	9	6

Legenda

D. de Contextos: D1- Saúde; D2- Prod. de energia; D3- Armas nucleares; D4- Ind. e agricultura; D5- Cosmos
V. atribuído: 1- mais interessante; 5- menos interessante; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.2- Resultados obtidos para a questão 1(para toda a amostra)



D1- Saúde; D2- Produção de energia; D3- Armas nucleares; D4- Indústria e agricultura; D5- Cosmos

Analisando os dados, podemos percebermos de que o domínio de contextos a que a maioria dos inquiridos atribuiu o valor 1 foi a *Saúde*. Assim, a ordem de preferência é (se considerarmos apenas o valor 1),

1º - Saúde (55%); 2º - Cosmos (16%); 3º - Armas nucleares (13%).

No entanto, se consideramos o valor 1 e o 2, há uma alteração entre a 2ª e a 3ª posição e, a ordem passa a ser:

1º - Saúde (69%); 2º- Armas nucleares (39%); 3º - Cosmos (35%)

Esperava-se que os inquiridos achassem mais interessante abordar o *Cosmos* mas, na realidade, verifica-se que o domínio de contextos que apresenta maior preferência é a *Saúde*. As razões que os inquiridos invocaram para essa preferência serão apresentadas posteriormente. Podemos considerar que, o *Cosmos* e as *Armas Nucleares* aparecem em segundo lugar, em termos de preferência, pois apresentam praticamente a mesma percentagem.

Atendendo a que, estudos anteriores haviam mostrado que as preferências do sexo feminino eram diferentes das do sexo masculino apresenta-se, a seguir, a análise por sexo.

Análise por sexo

- Sexo Feminino

Os resultados obtidos na questão 1, para a amostra do sexo feminino, são apresentados na tabela 3.4 e no gráfico 3.3.

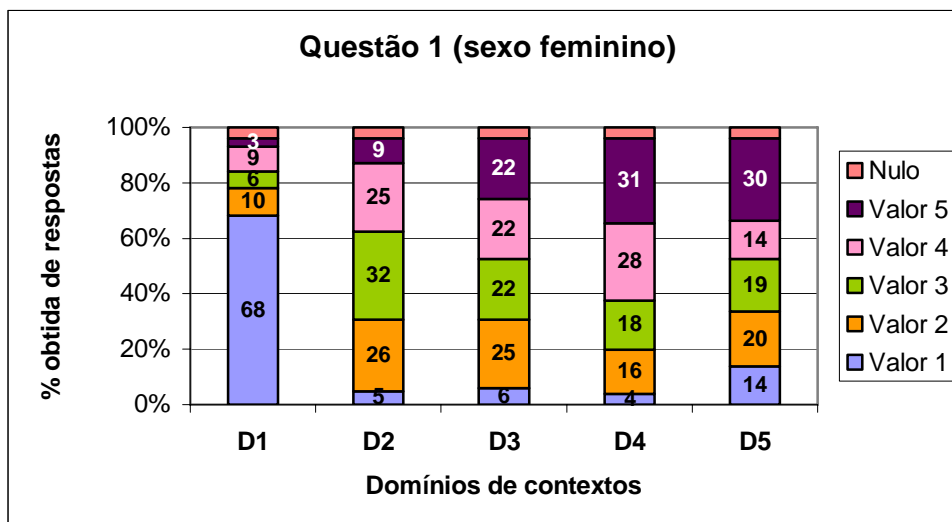
Tabela 3.4 – Resultados obtidos para a questão 1 (amostra do sexo feminino)

T	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	69	68	10	10	6	6	9	9	3	3	0	0	4	4
2	5	5	26	26	32	32	25	25	9	9	0	0	4	4
3	6	6	25	25	22	22	22	22	22	22	0	0	4	4
4	4	4	16	16	18	18	28	28	31	31	0	0	4	4
5	14	14	20	20	19	19	14	14	30	30	0	0	4	4

Legenda

D. de Contextos: D1- Saúde; D2- Prod. de energia; D3- Armas nucleares; D4- Ind. e agricultura; D5- Cosmos
V. atribuído: 1- mais interessante; 5- menos interessante; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.3 – Resultados obtidos para a questão 1 (amostra do sexo feminino)



D1- Saúde; D2- Produção de energia; D3- Armas nucleares; D4- Indústria e agricultura; D5- Cosmos

Se considerarmos apenas as respostas dadas pelo sexo feminino, verifica-se que a primeira preferência é claramente a *Saúde*. Verifica-se ainda que, a ordem de preferência é a mesma quer se considere somente o *valor 1* ou se considere o *valor 1* e o *2*.

1º - Saúde; 2º - Cosmos; 3º - “*Exequo*” (Produção de energia e Armas nucleares)

- Sexo Masculino

Os resultados obtidos na questão 1, para a amostra do sexo masculino, são apresentados na tabela 3.5 e no gráfico 3.4.

Tabela 3.5 – Resultados obtidos para a questão 1 (amostra do sexo masculino)

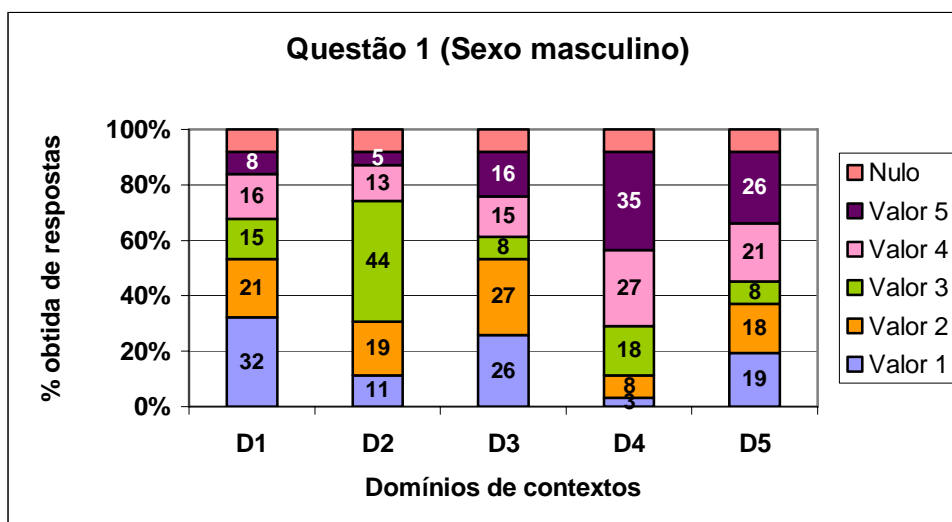
T	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	20	32	13	21	9	15	10	16	5	8	0	0	5	8
2	7	11	12	19	27	44	8	13	3	5	0	0	5	8
3	16	26	17	27	5	8	9	15	10	16	0	0	5	8
4	2	3	5	8	11	18	17	27	22	35	0	0	5	8
5	12	19	11	18	5	8	13	21	16	26	0	0	5	8

Legenda

D. de Contextos: D1- Saúde; D2- Prod. de energia; D3- Armas nucleares; D4- Ind. e agricultura; D5- Cosmos

V. atribuído: 1- mais interessante; 5- menos interessante; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.4 – Resultados obtidos para a questão 1 (amostra do sexo masculino)



D1- Saúde; D2- Produção de energia; D3- Armas nucleares; D4- Indústria e agricultura; D5- Cosmos

Se considerarmos apenas as respostas dadas pelo sexo masculino, verificamos que o domínio de contextos a que os inquiridos atribuem, mais vezes, o *valor 1* é ao da *Saúde*, no entanto não há uma diferença tão significativa, como no caso do sexo feminino, entre o número de inquiridos que prefere este domínio ou o domínio que aparece em segundo lugar *Armas nucleares*. Na verdade, com uma análise mais profunda, verifica-se que se considerarmos apenas o *valor 1* a ordem é,

1º - Saúde (32%); 2º - Armas nucleares (26%); 3º - Cosmos (19%)

mas, se consideramos o *valor 1* e o 2 há um empate e a ordem passa a ser

1º - Armas nucleares e Saúde (53%); 3º - Cosmos (37%).

Após esta análise por sexo, e reanalisando os resultados obtidos para toda a mostra, surge a dúvida se os resultados obtidos para *Armas nucleares* seriam os mesmos, se a amostra do sexo masculino fosse mais significativa.

Análise das razões apresentadas para as preferências dos inquiridos

Para conhecer as razões das escolhas efectuadas na questão 1, pediu-se aos inquiridos que justificassem o seu interesse num determinado domínio de contexto. Os resultados obtidos são apresentados nas cinco tabelas seguintes, sendo cada uma referente a um domínio de contexto.

Nas transcrições de respostas, apresentadas nestas tabelas, foram efectuadas alterações no texto original somente para corrigir erros ortográficos.

-Saúde

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 19 categorias distintas para o domínio de contextos Saúde.

Tabela 3.6-Distribuição das respostas pelas categorias formadas para o domínio de contextos **Saúde**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Número de pessoas	Maioria das pessoas, toda a gente	- abrange a maioria das pessoas - trata-se do tópico que atinge toda a gente de uma maneira directa	3,6 (6 al)
2	Efeitos prejudiciais	Consequências, efeitos, tipos de doenças, problemas	- quais são as consequências das radiações - tipos de doenças que podemos apanhar quando expostos a radiações - os distúrbios que certas radiações causam ao nosso organismo - as várias doenças, como se apanham, se são contagiosas	39,3 (64al)
3	Felicidade	A saúde é: importante, preciosa, vital. Felicidade	- a saúde é preciosa - é o mais importante para as pessoas - sem saúde não podemos viver - se não houver saúde não se é feliz - é dos assuntos que mais preocupa as pessoas hoje em dia	16,6 (27al)
4	As mais prejudiciais	Quais são ..., que tipos ...	- quais são as radiações que afectam mais o nosso corpo - tipos de radiações que afectam a saúde	1,2 (2 al)
5	Protecção	Prevenção, cuidar, como proteger?	- temos de saber cuidar da nossa saúde - como nos podemos prevenir - de que forma é que devemos estar protegidos para impedir consequências mais graves - tudo o que seja necessário para ter uma vida saudável - falta de prevenção	17,2 (28al)
6	Interesse	Interessante, informação	- porque me interessa bastante - gostava de ter mais informação no quotidiano - deveria ser mais abordado na escola	16,0 (26al)
7	Tipo específico de doença	Cancro, melanoma, doenças de pele, envelhecimento	- como se formam os melanomas e como é que as radiações interferem no processo - certas doenças como o cancro - como diminuir o número de pessoas afectadas pelo cancro de pele - envelhecimento do corpo	8,0 (13al)

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
8	Utilidade	Dia-a-dia, actual	- é um tema útil actualmente - o indispensável para o dia-a-dia	3,1 (5al)
9	Disciplina	Física	- ajuda a relacionar a Física com a vida do dia-a-dia	0,6 (1al)
10	Vantagens versus desvantagens	Benefícios e malefícios	- benefícios e malefícios das radiações - temos de saber o que beneficia a saúde e o que a destrói - porque é que não substituímos as radiações por outros processos no sistema de saúde?	8,6 (14al)
11	Curiosidades	Curiosidades, impressionantes, chocantes	- curiosidades - gosto das coisas mais impressionantes e chocantes da medicina actual	1,2 (2al)
12	Profissão	Medicina, carreira	- sendo da área de científicos a maior parte das pessoas querem seguir medicina convém abordar mais este tema - área de maior interesse futuro para a minha carreira	3,7 (6al)
13	Futuro	Investigação, estudo, pesquisa, novos	- investigação - técnicas desenvolvidas recentemente na cura de doenças graves - pesquisa	6,1 (10al)
14	Uma radiação específica	Referência a um tipo ou uma característica de certas radiações	- de que modo as radiações UV afectam uma pessoa - os efeitos das radiações mais energéticas na saúde humana - os problemas da radioactividade para a Saúde	3,1 (5al)
15	Aplicações	Como são ..., como é que...	- como são feitas as operações - saber mais sobre coisas técnicas - como é que as radiações podem auxiliar na prevenção, cura ou retardamento de certas doenças - Se os bronzeadores realmente protegem a pele	11,0 (18al)
16	Progresso	Atraso, desenvolver, evoluir	- porque a saúde de hoje está muito atrasada - é importante desenvolver as tecnologias a nível de saúde - deve-se evoluir nesta área - podemos evoluir mais ajudando o homem	2,5 (4al)
17	Ideias incorrectas	Errados	- existem muitos conceitos errados - as pessoas tenham noção dos efeitos	1,3 (2al)

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
18	Proximidade	Comigo	- por estar mais directamente ligado comigo	0,6 (1al)
19	Receio	Receio	- receio das radiações	0,6 (1al)

Apresentam-se a seguir as cinco categorias mais referidas, no domínio de contextos *Saúde*.

Tabela 3.7 – As categorias mais referidas para o domínio de contextos **Saúde**

Nº	NOME DA CATEGORIA	% DE R.
2	Efeitos prejudiciais	39,3
5	Protecção	17,2
3	Felicidade	16,6
6	Interesse	16,0
15	Aplicações	11,0

Facilmente se verifica que os inquiridos estão mais preocupados com os efeitos prejudiciais das radiações, e como se poderão proteger dessas radiações de modo a manter a sua felicidade, do que com os efeitos benéficos das radiações. Contudo, verifica-se que já existe algum interesse pelas aplicações das radiações na *Saúde*.

- Produção de energia

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 5 categorias distintas para o domínio de contextos *Produção de energia*.

Tabela 3.8 - Distribuição das respostas pelas categorias formadas para o tópico **Produção de energia**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Quantidade	Quantificar, obter mais	- analisar e quantificar a energia produzida - forma de obter mais energia	1,2 (2al)
2	Escassez	Esgotar, escassear	- é um tema que me preocupa bastante pois os combustíveis irão esgotar-se em breve - a escassez de energia existente	1,8 (3al)
3	Utilidade	Útil	-porque sem energia diversas coisas não eram úteis no dia-a-dia	0,6 (1al)
4	Processo de produção	Produção	- se soubermos a produção de energia das radiações sabemos as restantes - compreender o processo de produção de energia	2,5 (4al)
5	Futuro	Inventar, avanços	- abordando com mais interesse podíamos inventar novas máquinas mais eficazes - gostaria de saber como funciona e que avanços poderão ser feitos	1,2 (2al)

As razões apresentadas reflectem preocupações ambientais e energéticas.

- Armas Nucleares

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 7 categorias distintas para o domínio de contextos *Armas nucleares*.

Tabela 3.9- Distribuição das respostas pelas categorias formadas para o tópico **Armas nucleares**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Actual	Actual, eminente	- é actual - é um perigo que está cada vez mais eminente	2,5 (4al)
2	Interesse	Importante, interesse, fascínio	- é importante saber tudo acerca - é do interesse de todo o mundo - acho um tópico muito interessante - porque gosto de guerra - fascina-me	3,7 (6al)
3	Funcionamento	Como são feitas, funcionamento	- acho muito interessante saber como elas são feitas - a complexidade de funcionamento dessas armas	2,5 (4al)
4	Receio	Perigo, ameaça	- é importante saber um pouco mais dessa ameaça mundial - perigo de uma guerra nuclear	1,8 (3al)
5	Ignorância	Pouco conhecido	- porque penso que é um tópico pouco conhecido pelos alunos	0,6 (1al)
6	Guerra vs Paz	Defesa da paz, travar guerras	- a importância das armas nucleares na defesa da paz - para tentar travar as guerras com elas	1,2 (2al)
7	Consequências	Causam, prejudiciais	- o perigo que elas causam - são prejudiciais para a saúde	2,5 (4al)

As razões apresentadas reflectem por um lado interesse pela guerra e as armas em geral e, por outro lado, o receio pelas consequências deste tipo de armas. Alguns alunos manifestam interesse em conhecer este assunto, mais aprofundadamente, porque é um tema actual.

- Indústria e agricultura

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 2 categorias distintas para o domínio de contextos *Indústria e agricultura*.

Tabela 3.10 - Distribuição das respostas pelas categorias formadas para o tópico **Indústria e agricultura**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Consequências	Sujeitos a ...	- porque muitos alimentos e acessórios estão sujeitos a radiações	0,6 (1al)
2	Interessante	Interessante	- assunto interessante	1,8 (3al)

Como o domínio de contextos *Indústria e agricultura* foi pouco seleccionado pelos inquiridos, como sendo o mais interessante, são poucas as razões apresentadas para justificar o interesse neste domínio. Estas razões reflectem alguma preocupação com as consequências da utilização das radiações e alguma curiosidade sobre o assunto.

- Cosmos

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 4 categorias distintas para o domínio de contextos *Cosmos*.

Tabela 3.11 - Distribuição das respostas pelas categorias formadas para o tópico **Cosmos**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Interessante	Interessante, fascínio	- interessante - sou fascinado pelo assunto	11,7 (19al)
2	Origem	Proveniência	- qual é a proveniência das radiações	0,6 (1al)
3	Desconhecido	Conhecer, desvendar	- porque o tema cosmos ainda não é bem conhecido - poderíamos desvendar coisas intrigantes - conhecermos mais sobre o Universo	2,5 (4al)
4	Passado	Origem, história	- interesse-me muito pelo Universo, pela sua origem e pelos acontecimentos que nele decorrem - acho interessante saber a história	1,8 (3al)

As razões apresentadas, para a selecção deste domínio, reflectem interesse por conhecer o Universo e a sua história.

Na primeira questão os inquiridos podiam, ainda, acrescentar um outro domínio de contextos à lista apresentada. Apenas três inquiridos o fizeram. São apresentadas, a seguir, as propostas dos inquiridos:

- “Sexualidade”- Devido às características do instrumento de recolha de dados, não foi possível perceber se o inquirido não interpretou bem a pergunta ou se estava a referir-se a disfunções sexuais provocadas por uma exposição a radiações.
- “Astrofísica”- Atendendo a que este domínio estaria incluído no domínio de contextos *Cosmos*, é possível que o inquirido não tenha interpretado correctamente a abrangência da palavra *Cosmos*.
- “Robótica”- Este domínio estaria incluído no domínio de contextos *Indústria e agricultura*.

Questão 2: “De que é que tem mais receio, por achar mais provável acontecer?”

A tabela 3.12 e o gráfico 3.5 ilustram os resultados obtidos para a questão 2, com a qual se pretendia averiguar se os inquiridos consideram mais prováveis os acontecimentos que são referidos mais vezes nos meios de comunicação.

Tabela 3.12 – Resultados obtidos para a questão 2 (para toda a amostra)

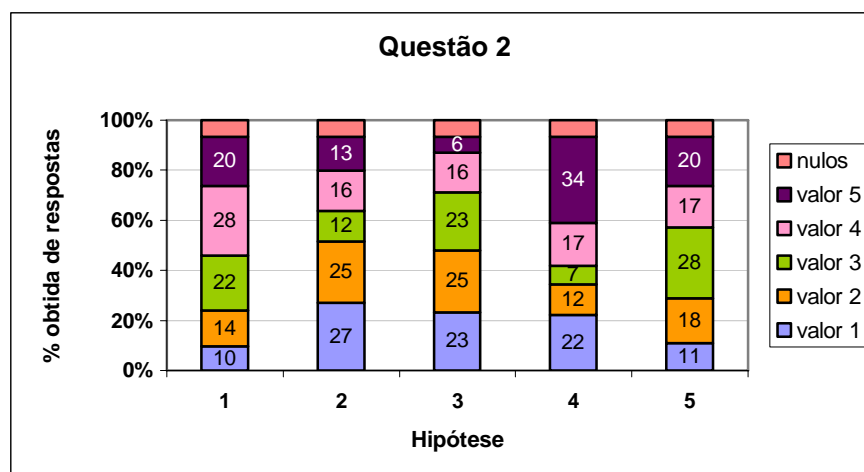
H	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
H1	16	10	23	14	36	22	45	28	32	20	0	0	11	7
H2	44	27	40	25	20	12	26	16	22	13	0	0	11	7
H3	38	23	40	25	38	23	26	16	10	6	0	0	11	7
H4	36	22	20	12	12	7	28	17	56	34	0	0	11	7
H5	18	11	29	18	46	28	27	17	32	20	0	0	11	7

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- mais provável; 5- menos provável; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.5 – Resultados obtidos para a questão 2 (para toda a amostra)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

Analisando os dados, podemos apercebermo-nos de que a hipótese que é considerada mais provável é a H2- *Ataque com bombas nucleares*, o que é curioso visto não ser o tipo de ataque mais mencionado na comunicação social. Verifica-se, ainda, que a ordem de preferência é a mesma quer se considere somente o *valor 1* ou se considere o *valor 1* e o *2*, e que as três hipóteses que são escolhidas mais vezes apresentam percentagens muito próximas.

1º - Ataque com bombas nucleares; 2º - Ataque com bombas químicas; 3º - Terramoto

Atendendo a que, na questão 1, se verificou que as opiniões do sexo feminino eram diferentes das do sexo masculino resolveu-se que, nesta questão, também se deveria proceder à análise por sexo.

Análise por sexo

- Sexo Feminino

Os resultados obtidos na questão 2, para a amostra do sexo feminino, são apresentados na tabela 3.13 e no gráfico 3.6.

Tabela 3.13 – Resultados obtidos para a questão 2 (amostra do sexo feminino)

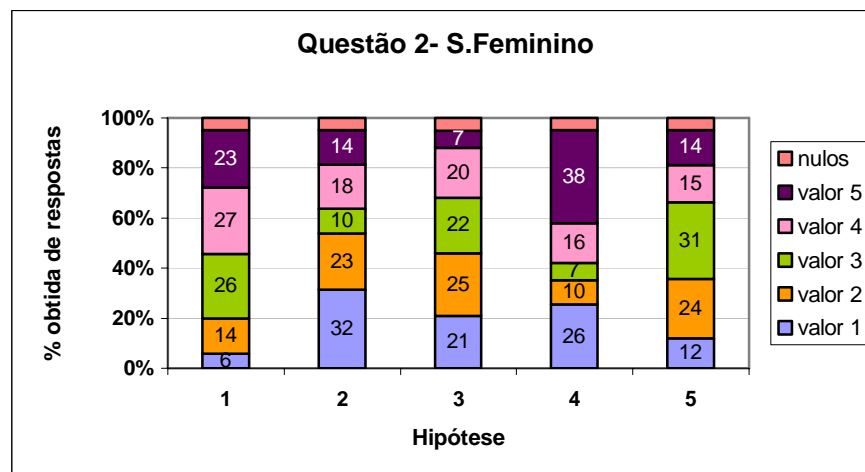
H	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	6	6	14	14	26	26	27	27	23	23	0	0	5	5
2	32	32	23	23	10	10	18	18	14	14	0	0	5	5
3	21	21	25	25	22	22	20	20	7	7	0	0	5	5
4	26	26	10	10	7	7	16	16	38	38	0	0	5	5
5	12	12	24	24	31	31	15	15	14	14	0	0	5	5

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- mais provável; 5- menos provável; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.6 – Resultados obtidos para a questão 2 (amostra do sexo feminino)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

Tal como na análise das respostas de toda a amostra, verifica-se que a hipótese que foi classificada mais vezes como sendo a *mais provável* é *Ataque com bombas*

nucleares. No entanto, se considerarmos apenas o *valor 1* verificamos que os inquiridos do sexo feminino escolhem mais vezes a hipótese *Terramoto* do que *Ataque com bombas químicas*. Contudo, se considerarmos o *valor 1* e o *2* mantém-se a ordem indicada para a totalidade da amostra, mas a hipótese *Acidente numa Central nuclear* assinala a mesma percentagem que o *Terramoto*.

1º - Ataque com bombas nucleares (55%); 2º - Ataque com bombas químicas (46%);

3º - Terramoto e Acidente numa Central nuclear (36%)

- Sexo Masculino

Os resultados obtidos na questão 2, para a amostra do sexo masculino, são apresentados na tabela 3.14 e no gráfico 3.7.

Tabela 3.14 – Resultados obtidos para a questão 2 (amostra do sexo masculino)

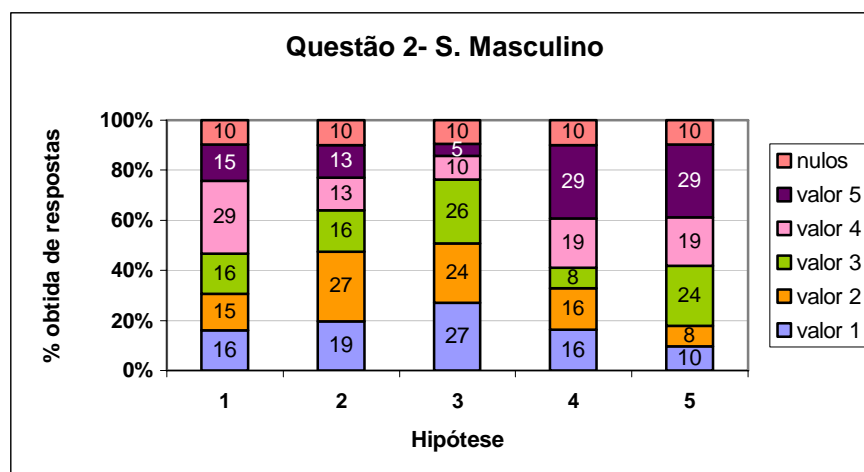
F	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	10	16	9	15	10	16	18	29	9	15	0	0	6	10
2	12	19	17	27	10	16	8	13	8	13	0	0	6	10
3	17	27	15	24	16	26	6	10	3	5	0	0	6	10
4	10	16	10	16	5	8	12	19	18	29	0	0	6	10
5	6	10	5	8	15	24	12	19	18	29	0	0	6	10

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- mais provável; 5- menos provável; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.7 – Resultados obtidos para a questão 2 (amostra do sexo masculino)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

Para a amostra do sexo masculino, verifica-se que a hipótese que foi classificada mais vezes como sendo a *mais provável* é *Ataque com bombas químicas*. Verifica-se, ainda, que a ordem de preferência é a mesma quer se considere somente o *valor 1* ou se considere o *valor 1* e o *2*, e que em terceiro lugar estão, praticamente com a mesma percentagem, duas hipóteses.

- 1º - Ataque com bombas químicas (51%); 2º - Ataque com bombas nucleares (46%);
3º - Terramoto e Ataque com bombas convencionais (32% e 31%)

Verifica-se, assim, que os inquiridos de ambos os sexos consideram muito prováveis ataques com *bombas nucleares* e *bombas químicas*. Também consideram provável a ocorrência de um *Terramoto*. A diferença mais significativa diz respeito ao *Ataque com bombas convencionais*, que a amostra do sexo masculino considera mais provável do que um *Acidente numa Central nuclear*, enquanto que a amostra do sexo feminino apresenta uma opinião contrária. Nesta análise há a salientar o facto de, apesar de não vivermos numa época em que se fale habitualmente, nos meios de comunicação, sobre possíveis ataques com armas nucleares e da probabilidade de ocorrência deste tipo de acontecimento ser muito inferior à dos outros acontecimentos, os inquiridos considerarem muito provável a ocorrência de ataques com armas nucleares.

Questão 3: “De que é que tem mais receio, por achar que as consequências seriam piores?”

A tabela 3.15 e o gráfico 3.8 ilustram os resultados obtidos para a questão 3, com a qual se pretendia averiguar se os inquiridos consideram mais nefastos os acontecimentos que são referidos mais vezes nos meios de comunicação.

Tabela 3.15 – Resultados obtidos para a questão 3 (toda a amostra)

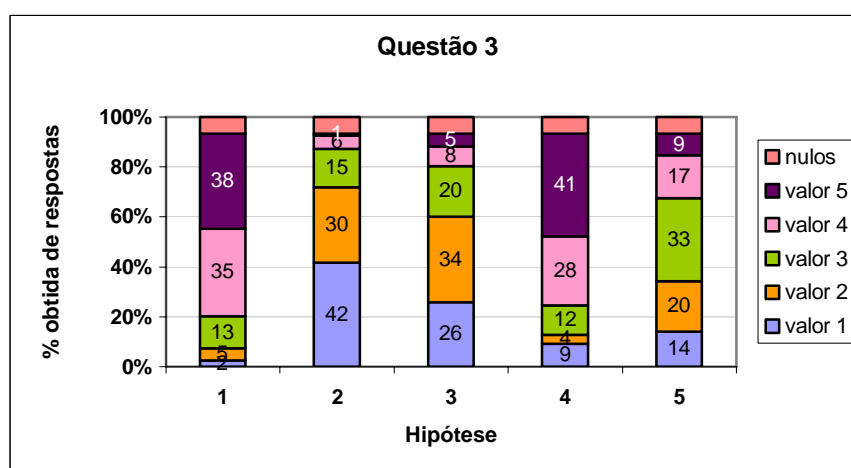
H	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	4	2	8	5	21	13	57	35	62	38	0	0	11	7
2	68	42	49	30	25	15	9	6	1	1	0	0	11	7
3	42	26	56	34	33	20	13	8	8	5	0	0	11	7
4	15	9	6	4	19	12	45	28	67	41	0	0	11	7
5	23	14	33	20	54	33	28	17	14	9	0	0	11	7

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- piores consequências; 5- as consequências seriam menores; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.8 – Resultados obtidos para a questão 3 (toda a amostra)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

À semelhança dos resultados obtidos na questão anterior, também nesta questão os inquiridos assinalaram, preferencialmente, a hipótese *Ataque com bombas nucleares* como sendo a que teria consequências piores. Verifica-se, ainda, que a ordem de preferência é a mesma quer se considere somente o *valor 1* ou se considere o *valor 1* e o *2*, e que as três hipóteses a que são mais vezes atribuídos estes valores são:

1º - Ataque com bombas nucleares; 2º - Ataque com bombas químicas;

3º - Acidente numa Central nuclear

Para que se possa compreender melhor os resultados obtidos, efectuou-se uma análise dos mesmos para cada sexo.

Análise por sexo

- Sexo Feminino

Os resultados obtidos na questão 3, para a amostra do sexo feminino, são apresentados na tabela 3.16 e no gráfico 3.9.

Tabela 3.16 – Resultados obtidos para a questão 3 (amostra do sexo feminino)

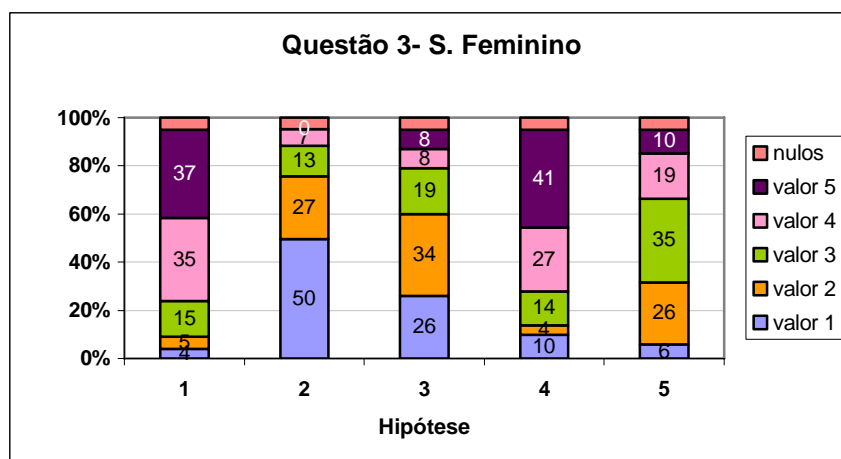
H	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	4	4	5	5	15	15	35	35	37	37	0	0	5	5
2	51	50	27	27	13	13	7	7	0	0	0	0	5	5
3	26	26	34	34	19	19	8	8	8	8	0	0	5	5
4	10	10	4	4	14	14	27	27	41	41	0	0	5	5
5	6	6	26	26	35	35	19	19	10	10	0	0	5	5

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- piores consequências; 5- as consequências seriam menores; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.9 – Resultados obtidos para a questão 3 (amostra do sexo feminino)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

Se considerarmos apenas o *valor 1*, parece haver uma alteração, em relação a toda a amostra, que é o facto da terceira hipótese mais escolhida ter sido *Terramoto*. Contudo, se analisarmos em conjunto as respostas a que foi atribuído *valor 1* e 2 verificamos que esta perde muito terreno em relação à hipótese *Acidente numa Central nuclear*. Podemos, assim, considerar que os resultados são semelhantes aos obtidos para a totalidade da amostra.

- Sexo Masculino

Os resultados obtidos na questão 3, para a amostra do sexo masculino, são apresentados na tabela 3.17 e no gráfico 3.10.

Tabela 3.17 – Resultados obtidos para a questão 3 (amostra do sexo masculino)

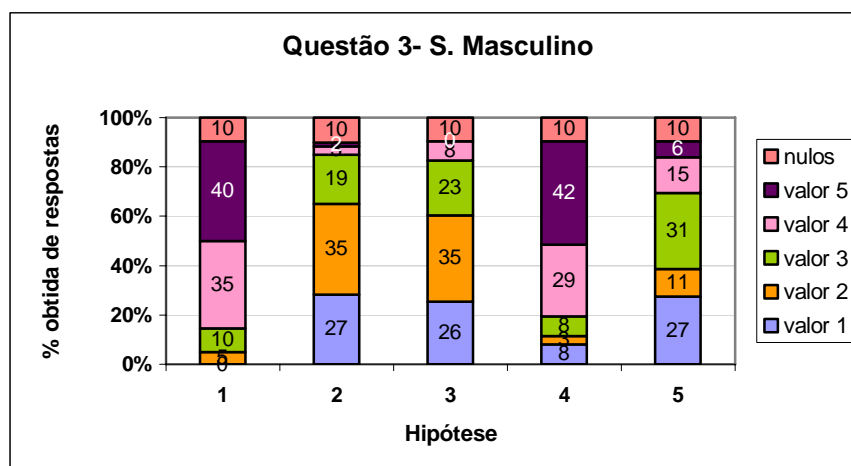
H	Valor atribuído													
	1		2		3		4		5		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	0	0	3	5	6	10	22	35	25	40	0	0	6	10
2	17	27	22	35	12	19	2	3	1	2	0	0	6	10
3	16	26	22	35	14	23	5	8	0	0	0	0	6	10
4	5	8	2	3	5	8	18	29	26	42	0	0	6	10
5	17	27	7	11	19	31	9	15	4	6	0	0	6	10

Legenda

Hipóteses: H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

V. atribuído: 1- piores consequências; 5- as consequências seriam menores; B- brancos; N- nulos

Gráfico 3.10 – Resultados obtidos para a questão 3 (amostra do sexo masculino)



H1- Ataque com bombas convencionais; H2- Ataque com bombas nucleares; H3- Ataque com bombas químicas; H4- Terramoto; H5- Acidente numa Central nuclear

Se considerarmos apenas as respostas a que foram atribuídas o *valor 1*, temos três hipóteses com praticamente a mesma percentagem *Ataque com bombas nucleares*, *Ataque com bombas químicas* e *Acidente numa Central nuclear*. E se considerarmos simultaneamente o *valor 1* e *2*, a única hipótese que fica para trás é o *Acidente numa Central nuclear*.

3.4.2. CONHECIMENTO DOS INQUIRIDOS SOBRE AS APLICAÇÕES MÉDICAS.

Questão 4: “ A seguir é apresentada uma lista de exames clínicos. Assinale os que envolvem a exposição do paciente a radiações.”

Com o objectivo de averiguar se os inquiridos conhecem os processos físicos que são utilizados no conjunto de exames clínicos apresentados, foi elaborada a questão 4, cujos resultados são apresentados na tabela 3.18 e no gráfico 3.11.

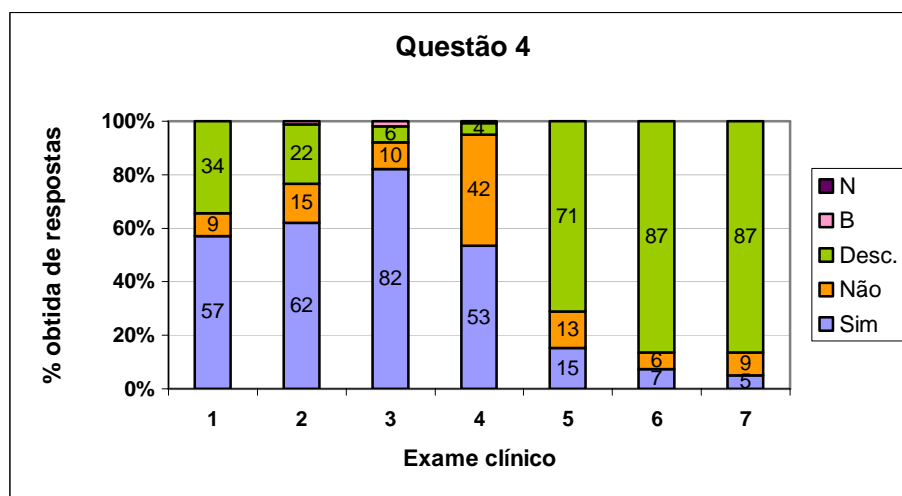
Tabela 3.18 – Resultados obtidos para a questão 4

E.C.	Opções									
	Sim		Não		Desc.		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	93	57	14	9	56	34	0	0	0	0
2	101	62	24	15	36	22	2	1	0	0
3	134	82	16	10	10	6	3	2	0	0
4	87	53	68	42	7	4	0	0	1	1
5	25	15	22	13	116	71	0	0	0	0
6	12	7	10	6	141	87	0	0	0	0
7	8	5	14	9	141	87	0	0	0	0

Legenda

E. C.: E1-IRM; E2-TAC; E3-R. Convencional; E4-Ecografia; E5- Fluoroscopia; E6- Cintigrafia; E7-Angiografia
V. atribuído: Sim; Não; Desconheço; B- Brancos; N- nulos

Gráfico 3.11 – Resultados obtidos para a questão 4



E1-IRM; E2-TAC; E3-Rad. Convencional; E4-Ecografia; E5- Fluoroscopia; E6- Cintigrafia; E7-Angiografia

Relativamente às aplicações médicas das radiações, verifica-se que algumas são relativamente conhecidas (IRM, TAC, radiografia convencional) enquanto que outras são completamente desconhecidas (fluoroscopia, cintigrafia, angiografia). Após a análise dos dados, também se verificou que aproximadamente metade da amostra considera que as ecografias envolvem a exposição do paciente a radiações. Este último resultado pode dever-se à inexistência de distinção entre som e radiação.

Estes resultados estão de acordo com a hipótese formulada no início da investigação.

3.4.3. IDEIAS INCORRECTAS QUE POSSAM DIFICULTAR A PONDERAÇÃO DE RISCO.

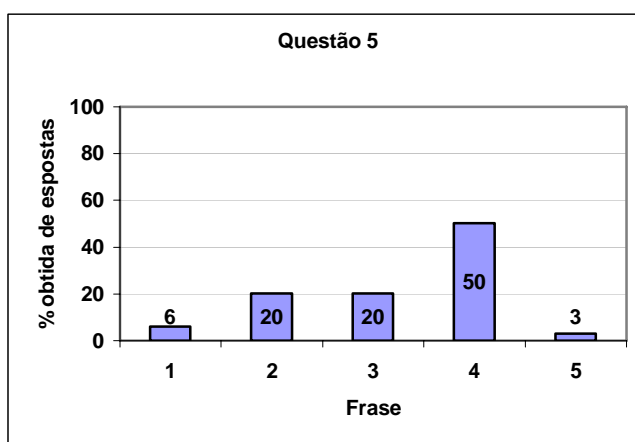
Questão 5: “É usual dizer que o efeito das radiações é cumulativo. Isto significa que ...”

A questão 5 foi elaborada para averiguar qual é a opinião que os inquiridos têm sobre as razões que tornam uma exposição repetida, a radiações, perigosa para a saúde. Os resultados, obtidos nesta questão, são apresentados na tabela 3.19 e no gráfico 3.12.

Tabela 3.19 – Resultados obtidos para a questão 5

	E.S.R.	
	NA	%
1	10	6
2	33	20
3	33	20
4	82	50
B	5	3
N	0	0

Gráfico 3.12 – Resultados obtidos para a questão 5



Legenda

Frases: F1- a radiação acumula-se; F2- a energia acumula-se; F3- as substâncias radioactivas acumulam-se; F4- a capacidade de regeneração é limitada; F5- brancos

Embora os resultados obtidos revelem que metade da amostra considera que uma exposição repetida, a radiações, é perigosa para a saúde porque a capacidade de regeneração dos organismos vivos é limitada, ainda há uma percentagem significativa dos inquiridos que manifestam as ideias incorrectas de que a energia das radiações e as substâncias radioactivas se acumulam nos seres vivos.

Questão 6: “ A seguir são apresentadas algumas medidas de segurança que são aconselhadas em algumas situações. Assinale as que considera mais eficazes, em cada situação.”

A questão 6 foi elaborada com o objectivo de averiguar:

- se os inquiridos fazem alguma distinção entre os perigos causados por uma substância radiactiva e os causados por uma radiação ionizante;
- quais são as ideias incorrectas que dificultam a ponderação de risco.

Os resultados são apresentados na tabela 3.20 e no gráfico 3.13.

Tabela 3.20 – Resultados obtidos para a questão 6

M.S	E.S.R.		E. R. X	
	NA	%	NA	%
1	116	71	19	12
2	54	33	76	47
3	47	29	113	69
4	88	54	62	38
5	125	77	47	29
6	111	68	45	28
7	101	62	34	21
B	7	4	7	4
N	0	0	0	0

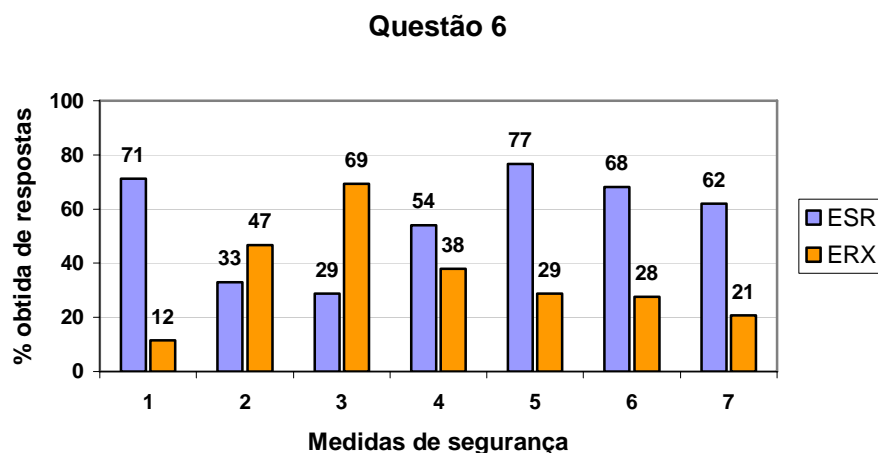
Legenda

Medidas de segurança: S1- Arejar; S2-Salas maiores; S3- Resguardo de chumbo; S4-Bata de algodão;

S5- Ingestão de alimentos; S6- Máscara; S7-Duche; B- brancos; N- nulos

Situações: E.S.R.- Exposição a uma substância radiactiva; E. R. X- Exposição a raios X

Gráfico 3.13 – Resultados obtidos para a questão 6



Medidas de segurança: S1- Arejar; S2- Salas maiores; S3- Resguardo de chumbo; S4- Bata de algodão; S5- Ingestão de alimentos; S6- Máscara; S7- Duche

Relativamente ao facto de haver, ou não, distinção entre os perigos causados por uma substância radioactiva e os causados por uma radiação ionizante, verifica-se que existe alguma distinção, porque as medidas de segurança mais escolhidas em cada situação são distintas. No caso da exposição a uma exposição radioactiva, foram seleccionadas mais vezes as medidas de segurança: S1- Arejar; S4- Bata de algodão; S5- Ingestão de alimentos; S6- Máscara; S7- Duche.

Já no caso da exposição a raios X, as medidas de segurança mais escolhidas foram: S2- Salas maiores; S3- Resguardo de chumbo

Verifica-se, ainda, que existe uma percentagem significativa de inquiridos que selecciona medidas de segurança que não seriam eficazes em algumas situações.

Em seguida são apresentadas as razões que os inquiridos apresentaram para as escolhas efectuadas.

25% dos alunos não apresentaram qualquer justificação para a escolha efectuada na pergunta 6.

É de notar que a percentagem indicada, na tabela, refere-se ao número de respostas que mencionam determinado aspecto. Algumas respostas referiam mais do que um aspecto.

No sentido de facilitar a leitura dos resultados e a análise efectuada, a presente secção será dividido em duas partes. Numa primeira parte, são analisados os resultados obtidos com o questionário para a questão relacionada com a “Exposição a uma substância radiactiva” e, na segunda parte, analisam-se os resultados obtidos para a questão “Exposição a raios X”.

1ª Parte- Exposição a uma substância radioactiva

Arejar a sala

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 10 categorias distintas para o domínio de contextos *Arejar a sala*.

Tabela 3.21- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Arejar a sala**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Remover a substância	Evacuar, expelir, remover	- poderia haver hipóteses de partes das substâncias serem evacuadas - para as substâncias serem expelidas	6,1 (10al)
2	Purificar o ar	Renovar, purificar, circular o ar	- permite a entrada de ar para renovar/ purificar o ar existente na sala. - a exposição a uma substância radioactiva faz mal à nossa saúde por isso é necessário arejar a sala - deve-se arejar a sala para haver circulação de ar	11,0 (18al)
3	Remover gases	Cheiros, gases	- evacuar cheiros - libertar os gases	1,8 (3al)
4	Eliminação de substâncias	Eliminar, desaparecer	- eliminar algumas substâncias - a substância desaparece - a radioactividade desaparece	4,3 (7al)
5	Dissipação	Dispersar, dissipar, espalhar	- as substâncias radioactivas que estão na sala irão ser mais dispersas - as radiações dissipam-se - espalham-se	9,8 (16al)
6	Intoxicação	Intoxicação, contágio	- se não as substâncias radioactivas contidas no ar concentram-se na sala e pode levar à intoxicação - podemos ficar contagiados - pode ter substâncias tóxicas	3,7 (6al)
7	Partículas suspensas	Suspensão, espalhadas no ar	- as partículas estão em suspensão - as substâncias radioactivas andam espalhadas no ar	1,2 (2al)
8	Radão	Radão	- por causa do radão	0,6 (1al)
9	Diminuir as radiações	Radiações	- não ficar tantos vestígios de radiações - não conter as radiações fechadas	2,5 (4al)
10	Probabilidade	Probabilidade	- menor probabilidade de nos fazer mal	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- As radiações comportam-se como gases.
- As radiações acumulam-se.
- As substâncias radiactivas são mais perigosas numa sala fechada

Salas maiores

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 7 categorias distintas para o domínio de contextos *Salas maiores*.

Tabela 3.22- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Salas maiores**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Dissipação	Dissipar, dispersar	- as radiações irão dissipar-se, mais facilmente dado o espaço ser maior - a radioactividade pode dispersar-se mais facilmente	3,7 (6al)
2	Concentração	Quantidade, concentração	- a quantidade de substância radiactiva por quantidade de ar é menor - a concentração de substâncias radiactivas é menor	10,4 (17al)
3	Intoxicação	Tóxico, intoxicação	- haverá mais espaço para as substâncias tóxicas - a possibilidade de intoxicação é menor	1,2 (2al)
4	Tempo	Tempo, não se propagam tão rapidamente	- as radiações demoram mais tempo a espalharem-se - as substâncias tóxicas não se propagam tão rapidamente	1,2 (2al)
5	Circulação	Ventilação, circulação	- permite uma maior ventilação - o ar circula mais facilmente - há mais circulação da substância	4,9 (8al)
6	Intensidade	Intensidade de substâncias	- não há tanta intensidade das substâncias radiactivas	0,6 (1al)
7	Explosão	Explosão	- sem muito espaço a explosão pode ser mais perigosa	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- A circulação da substância radiactiva faz diminuir o perigo de exposição.
- As substâncias radiactivas podem explodir ou provocar explosões.
- Confusão entre concentração e intensidade de uma radiação.

Resguardo de chumbo

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 5 categorias distintas para o domínio de contextos *Resguardo de chumbo*.

Tabela 3.23- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Resguardo de chumbo**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Diminuir a exposição	Evita a exposição, diminui a intensidade	- evita que possa estar tão exposto - diminui a intensidade	3,1 (5al)
2	Protecção completa	Absorvem, isolam	- absorvem - isolam as pessoas das radiações	4,3 (7al)
3	Funcionamento	Funcionamento	- pode provocar o seu melhor funcionamento	0,6 (1al)
4	Filtrar	Filtrar	- as substâncias radiactivas fazem mal à nossa saúde e então é necessário filtrá-las	1,2 (2al)
5	Contacto	Contacto	- não entrar em contacto com a radiação	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- Os resguardos de chumbo absorvem substâncias em vez de radiações.

Bata de algodão

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 8 categorias distintas para o domínio de contextos *Bata de algodão*.

Tabela 3.24- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Bata de algodão**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Protecção sem especificar	Protege	- protege	1,8 (3al)
2	Incendiar	Incendiar	- as radiações podem ser tão fortes e fazer com que a bata se incendeie, sendo a bata de algodão e não de fibra, então não se agarra ao corpo - pode incendiar	3,7 (6al)
3	Proteger das radiações	Impermeável	- o algodão é impermeável funcionando como fortaleza a todos os comprimentos de onda - protege-nos da exposição a substâncias	6,1 (10al)
4	Proteger a roupa	Roupa	- assim não corremos o risco de algumas substâncias se entornarem para a nossa roupa - assim podemos retirar a roupa infectada -podem salpicar partículas	4,3 (7al)
5	Proteger a pele	Contacto directo, pele	- evita o contacto directo com o corpo - a substância cai primeiro na bata e não directamente na pele - corre-se menos riscos de queimarmos a pele com substâncias radiactivas	6,1 (10al)
6	Reflexão	Reflecte	- reflecte as radiações	0,6 (1al)
7	Regra	Trabalho laboratorial	- é essencial em um trabalho laboratorial	0,6 (1al)
8	Absorção	Absorve	- absorve as substâncias radiactivas	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- O algodão é um meio de protecção eficaz contra as radiações que as substâncias radiactivas emitem.
- As radiações emitidas pelas substâncias radiactivas podem incendiar a roupa.
- As substâncias radiactivas queimam a pele.

- As substâncias radioactivas são mais perigosas se entrarem em contacto com a pele.
- O algodão absorve as substâncias radioactivas.

Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 9 categorias distintas para o domínio de contextos *Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar*.

Tabela 3.25- *Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar***

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Ingestão de substâncias radioactivas	Ingerir, passar para a comida	- pois poderemos ingerir uma substância radioactiva sem darmos conta - para a substância radioactiva não passar para a comida	14,7 (24al)
2	Contaminação	Contágio, contaminação, infectar, afectar	- para evitar contágio por essas substâncias - para não infectar a comida - os alimentos podem ficar contaminados - os alimentos podem ficar afectados	14,1 (23al)
3	Alimentos radioactivos	Ficarão radioactivos	- os alimentos também ficarão radioactivos e ao serem ingeridos irão causar graves consequências ao nosso organismo	4,3 (7al)
4	Exposição do indivíduo	Exposição, vulnerabilidade	- pois podemos estar expostos a substâncias radioactivas - deixa-nos vulneráveis	1,2 (2al)
5	Formação de novas substâncias	Subst. resultantes das radiações, alterações nos alimentos	- para não ingerirmos substâncias resultantes das radiações - pois a comida e a bebida podem sofrer alterações que sejam prejudiciais futuramente	1,2 (2al)
6	Estragar a experiência	Entornar, influenciar na actividade	- diminuindo assim a possibilidade de entornar comida ou bebida para cima de alguma coisa - porque pode influenciar na actividade que está a ser feita	1,8 (3al)
7	Regra	Não é permitido, é uma regra	- porque não é permitido - é uma regra do laboratório	3,1 (5al)
8	Intoxicação	Intoxicação, tóxico	- para não sofrer uma intoxicação - para não ingerir uma substância tóxica	1,8 (3al)
9	Acumulação de radiações	Conter radiações, acumular radiações, ingerir radiações	- porque podem conter certas radiações - evitar que as radiações se acumulem na comida - porque junto com o alimento estaríamos a ingerir radiações	5,5 (9al)

Ideias incorrectas detectadas:

- Quando os alimentos são expostos a radiações tornam-se radioactivos.
- As radiações provocam alterações nos alimentos tornando-os perigosos para a saúde.
- As radiações acumulam-se nos alimentos.

Máscara

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 8 categorias distintas para o domínio de contextos *Máscara*.

Tabela 3.26- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico *Máscara*

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Inalação e Ingestão	Inalar resíduos ou produtos	- para não inalar resíduos radioactivos - evita o risco de inalação ou ingestão de produtos perigosos	11,7 (19al)
2	Contacto	Contacto	-o contacto com as substâncias radioactivas podem provocar danos no sistema respiratório	0,6 (1al)
3	Cheirar	Cheirar, gases	- não se deve cheirar - para não inalarmos o cheiro da substância - protege dos gases nocivos que as substâncias radioactivas libertam	3,7 (6al)
4	Protecção dos órgãos	Pele, cara, olhos, vias respiratórias	- protege a camada de pele - permite a protecção da cara - protege a cara e as vias respiratórias - proteger os olhos	10,4 (17al)
5	Absorção	Absorvida	- a substância radioactiva não ser tão absorvida pelo corpo	0,6 (1al)
6	Intoxicação	Intoxicação, tóxico	- previne uma intoxicação - pode cheirar-se alguma substância tóxica	2,5 (4al)
7	Radiação	Radiação	- para a radiação não ir para casa - evita que a respiração seja directamente exposta a radiações - evita que a radiação ou parte dela passe	3,7 (6al)
8	Filtrar	Filtro, filtrar	- porque funciona como um filtro - filtra o ar	1,8 (3al)

Ideias incorrectas detectadas:

- As substâncias radioactivas são mais perigosas quando entram em contacto com a pele.
- As radiações são gases.
- As substâncias radioactivas libertam gases perigosos.
- As radiações penetram no organismo pelo nariz ou pela boca.

Tomar um duche

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 5 categorias distintas para o domínio de contextos *Tomar um duche*.

Tabela 3.27- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Tomar um duche**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Remover substâncias radioactivas	Eliminar, limpar resíduos ou substâncias	<ul style="list-style-type: none"> - para eliminar resíduos radioactivos - para limpar o nosso corpo de algum elemento radioactivo que esteja na nossa pele - para eliminar possíveis vestígios de substância - se a substância entrou em contacto com a pele 	22,7 (37al)
2	Remover a radiação	Eliminar ou retirar radiações	<ul style="list-style-type: none"> - para eliminar as radiações - assim são retiradas algumas das radiações penetradas - pois ficamos com radiação no corpo logo tem de ser removida 	4,3 (7al)
3	Remover algo	Retirar algo	<ul style="list-style-type: none"> - para retirar do corpo algo que se tenha acumulado 	1,2 (2al)
4	Protecção da pele	Pele	<ul style="list-style-type: none"> - para não provocar doenças de pele - limpa a pele 	1,2 (2al)
5	Exposição	Exposição	<ul style="list-style-type: none"> - exposição radioactiva 	1,8 (3al)

Ideias incorrectas detectadas:

- O duche elimina as radiações.
- O duche consegue remover radiações que tenham penetrado na pele.

Apresentam-se a seguir as categorias de respostas mais referidas, para cada medida de segurança.

Tabela 3.28- *Categorias de respostas com maior percentagem*

MEDIDAS DE SEGURANÇA	RAZÕES APRESENTADAS	% DE R.
Não comer nem beber	Ingestão de substâncias radiactivas	14,7
	Contaminação	14,1
	Acumulação de radiações	5,5
Arejar a sala	Purificar o ar	11,0
	Dissipação	9,8
	Remover a substância	6,1
Máscara	Prevenir a inalação e ingestão	11,7
	Protecção dos órgãos	10,4
	Evitar cheirar	3,7
	Evitar a penetração da radiação	3,7
Tomar duche	Remover a substância radiactiva	22,7
	Remover a radiação	4,3
	Diminuir a exposição	1,8
Bata de algodão	Protecção das radiações	6,1
	Protege a pele	6,1
	Protege a roupa	4,3
Salas maiores	Diminuir a concentração	10,4
	Circulação	4,9
	Dissipação	3,7
Resguardo de chumbo	Protecção completa	4,3
	Diminuir a exposição	3,1
	Filtrar	1,2

2ª Parte- Exposição a raios X

Arejar a sala

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 4 categorias distintas para o domínio de contextos *Arejar a sala*.

Tabela 3.29 - Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Arejar a sala**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Penetrar	Penetrar	- os raios X têm uma grande intensidade e desta forma penetram mais facilmente no ambiente	0,6 (1al)
2	Acumular	Concentrar, acumular	- os raios X têm tendência a sair enquanto que ela fechada havia mais concentração destes - as radiações podem acumular-se	2,5 (4al)
3	Intoxicação	Tóxico	- para não inalarmos substâncias tóxicas	0,6 (1al)
4	Dissipar	Dissipar	- dissipar as radiações	1,2 (2al)

Ideias incorrectas detectadas:

- As radiações acumulam-se.
- As radiações são ou produzem substâncias tóxicas.

Salas maiores

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 6 categorias distintas para o domínio de contextos *Salas maiores*.

Tabela 3.30- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Salas maiores**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Dissipação	Dissipar, espalhar, expandir	- as radiações irão dissipar-se, mais facilmente dado o espaço ser maior - os raios X serão menores e espalham-se pela sala - há mais expansão das ondas	6,1 (10al)
2	Locais de protecção	Local de resguardo	- para ter maior local de resguardo	0,6 (1al)
3	Concentração	Concentração, mais ar	- menor concentração das radiações - há mais ar	8,0 (13al)
4	Mobilidade das pessoas	Mobilidade	- havia mais espaço para os alunos permitindo assim maior mobilidade, a exposição seria menor	0,6 (1al)
5	Exposição	Exposição	- estamos menos expostos	0,6 (1al)
6	Acumulação	Acumular	- não acumulam tantas radiações	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- O movimento faz diminuir a exposição.
- As radiações acumulam-se.
- Quanto maior for a quantidade de ar menor é o perigo das radiações.

Resguardo de chumbo

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 11 categorias distintas para o domínio de contextos *Resguardo de chumbo*.

Tabela 3.31- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Resguardo de chumbo**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Reter	Evitar a saída, que vão para longe	- para evitar saídas de raios X - desta forma evita-se que as radiações vão muito para além do local onde são utilizadas	2,5 (4al)
2	Intensidade	Intensidade, não actuar directamente	- os raios X chegam com menor intensidade ao nosso corpo - não convém que actuem directamente no nosso corpo	3,1 (5al)
3	Imunidade	Imune	- para estar imune à passagem dos raios	0,6 (1al)
4	Olhos	Olhos, visão	- assim as radiações nocivas não danificam a retina dos olhos e/ ou outras partes do corpo - não permite que elas chegue aos olhos - não afectar a visão directamente	3,1 (5al)
5	Protecção das radiações	Protege, previne	- protegem-nos das radiações - previne a passagem dos raios X	12,3 (20al)
6	Reflexão	Reflectidos	- os raios incidentes nestes ecrãs irão ser reflectidos e não absorvidos, não prejudicando tão gravemente a saúde	0,6 (1al)
7	Absorção	Absorve	- absorvem	2,5 (4al)
8	Filtrar substâncias	Filtram substâncias	-filtram as substâncias nocivas para o organismo humano	1,2 (2al)
9	Contacto	Contacto	- para as radiações não entrarem em contacto com o corpo - evita algum contacto com os raios X	2,5 (4al)
10	Filtrar radiações	Filtrar radiações	- permite filtrar a radiação - filtrar os raios X que estão a mais	8,6 (14al)
11	Explosão	Explosão	- estes são constituídos por chumbo e não podem estar expostos a substâncias radiactivas por risco de explosão - com o tempo pode haver uma explosão e danificar o ecrã	1,8 (3al)

Ideias incorrectas detectadas:

- Os raios X são especialmente perigosos para os olhos.
- Os raios X são perigosos por “contacto”.
- Os raios X absorvidos podem provocar uma explosão.

Bata de algodão

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 5 categorias distintas para o domínio de contextos *Bata de algodão*.

Tabela 3.32- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Bata de algodão**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Médicos	Médicos	- os médicos usam-nas quando atendem os pacientes e quando estão na presença de raios X	0,6 (1al)
2	Intensidade	Intensidade, não afecta directamente, menor exposição, filtram	- evita que os raios X cheguem com muita intensidade ao nosso corpo - tem uma maior espessura e assim não afecta directamente e tão facilmente a pele - estamos menos expostos - filtram os raios	9,8 (16al)
3	Bloquear	Não deixa passar, reflecte	- não permite que passem os raios - reflectem os raios	4,3 (7al)
4	Roupa	Roupa, lavar mais facilmente	- são mais fáceis de lavar - evita a contaminação da roupa - a exposição aos raios X danifica a roupa, o algodão é uma substância eficaz	1,8 (3al)
5	Proteger a pele	Pele	- protege a pele	1,8 (3al)

Ideias incorrectas detectadas:

- A bata de algodão é uma protecção eficaz contra os raios X.
- As radiações contaminam a roupa (acumulam-se).
- Os raios X estragam a roupa.

Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar

Após a análise das respostas dadas, considerou-se a existência de 5 categorias distintas para o domínio de contextos *Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar*.

Tabela 3.33- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Equipamento	Estragar material	- para não estragar o material pois é sensível	0,6 (1al)
2	Ingestão de substâncias perigosas	Ingerir, contaminar alimentos	- pois podemos ingerir substâncias perigosas ao organismo - para que os alimentos não sejam afectados pelos raios X e não ingerirmos substâncias radiactivas - podemos contaminar os alimentos que estamos a ingerir	8,6 (14al)
3	Mutações	Godzila, mutantes	- porque a comida fica radiactiva e depois forma-se um <i>godzila</i> - ficamos <i>mutantes</i>	1,2 (2al)
4	Acumulação de radiações	As radiações acumulam-se, as radiações nos alimentos	- para evitar que as radiações se acumulem na comida - as radiações nos alimentos podem prejudicar o Homem	1,8 (3al)
5	Regra	Regra	- é uma regra do trabalho em laboratório	1,8 (3al)

Ideias incorrectas detectadas:

- Os raios X podem acumular-se nos alimentos ou provocar o aparecimento de substâncias estranhas.
- As radiações podem provocar alterações nos seres vivos transformando-os em algo diferente (mutantes).
- As radiações acumulam-se.

Máscara

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 7 categorias distintas para o domínio de contextos *Máscara*.

Tabela 3.34- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico *Máscara*

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Protecção da cara	Pele, cara	- para evitar o contacto com a pele - protege a camada de pele - estamos protegidos de alguma coisa que possa ir para a cara - previne a deformação da cara	4,9 (8al)
2	Protecção dos olhos	Olhos, vista	- evita que algo danifique os olhos - os raios X são bastante prejudiciais à vista desarmada, podendo até cegar um indivíduo	5,5 (9al)
3	Protecção contra todas as radiações	Protege de todos os tipos	- nos protege de todos os tipos de radiações	3,1 (5al)
4	Corpo	Corpo	- impede que os raios penetrem no corpo	0,6 (1al)
5	Reflexão	Reflexão	-reflexão das radiações	0,6 (1al)
6	Filtrar	Filtro	- funciona como um filtro	1,2 (2al)
7	Inalar	Inalar	- para não inalarmos raios X	1,2 (2al)

Ideias incorrectas detectadas:

- As radiações são perigosas quando entram em “contacto” com a pele.
- Os raios X são especialmente perigosos para os olhos.
- As radiações são inaladas.

Tomar um duche

Após a análise das respostas dadas considerou-se a existência de 4 categorias distintas para o domínio de contextos *Tomar um duche*.

Tabela 3.35- Distribuição das respostas dos alunos pelas categorias formadas para o tópico **Tomar um duche**

Nº	NOME DA CATEGORIA	DEFINIÇÃO DA CATEGORIA (Aspectos referidos)	EXEMPLOS DE DESCRIÇÃO	% DE RESP.
1	Destruir a radiação	Destruir, diminuir	- o duche tem um efeito de destruição dos raios - diminui a radiação	3,1 (5al)
2	Remover substâncias	Eliminar, limpar	- permitindo que as substâncias que estejam no nosso corpo sejam eliminados pela água - limpa bem os vestígios de resíduos	2,5 (4al)
3	Risco	Risco	- diminui os riscos	0,6 (1al)
4	Doenças	Doenças	- para que não se fique com algumas doenças (de pele, por exemplo) devido às radiações	0,6 (1al)

Ideias incorrectas detectadas:

- A água diminui ou destrói as radiações

Apresentam-se a seguir as categorias de respostas mais referidas, para cada medida de segurança.

Tabela 3.36- *Categorias de respostas com maior percentagem*

MEDIDAS DE SEGURANÇA	RAZÕES APRESENTADAS	% DE R.
Resguardo de chumbo	Protecção contra as radiações	12,3
	Filtrar as radiações	8,6
Salas maiores	Concentração	8,0
	Dissipação	6,1
Bata de algodão	Intensidade	9,8
	Bloquear	4,3
Não comer nem beber	Ingestão de subst. perigosas	8,6
	Acumulação de radiações	1,8
Máscara	Protecção dos olhos	5,5
	Protecção da cara	4,9
Tomar duche	Destruir a radiação	3,1
	Remover substâncias	2,5
Arejar a sala	Acumular	2,5
	Dissipar	1,2

Questão 7: “A seguir são apresentados alguns tipos de radiações. Assinale a opção que considera mais correcta, em cada caso.”

A tabela 3.37 e o gráfico 3.14 ilustram os resultados obtidos para a questão 7 com a qual se pretendia averiguar se os inquiridos:

- conseguem fazer a distinção entre radiações, substâncias radiactivas, som, magnetismo.
- estão de igual modo familiarizados com todos os tipos de radiações.

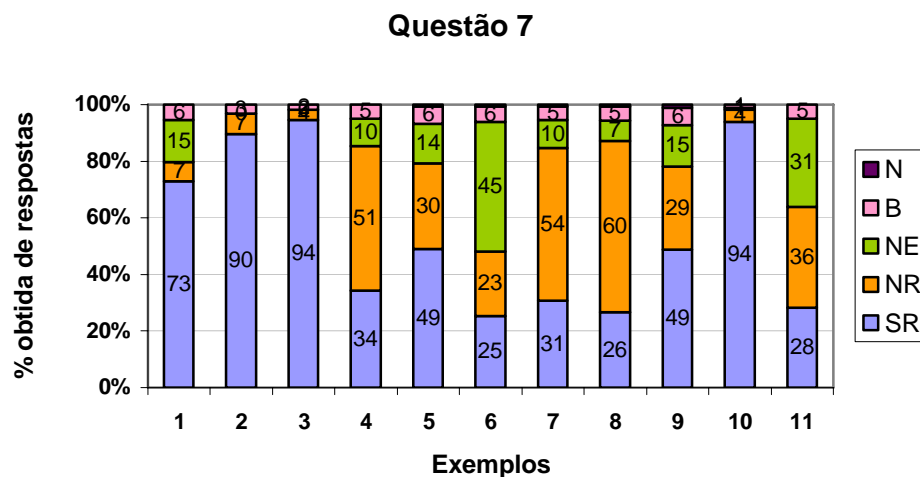
Tabela 3.37 – Resultados obtidos para a questão 7

	Opções									
	S. R.		N. S. R.		N. E.		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	119	73	11	7	24	15	9	6	0	0
2	146	90	12	7	0	0	5	3	0	0
3	154	94	6	4	0	0	3	2	0	0
4	56	34	83	51	16	10	8	5	0	0
5	80	49	49	30	23	14	10	6	1	1
6	41	25	37	23	74	45	9	6	1	1
7	50	31	88	54	16	10	8	5	1	1
8	43	26	98	60	12	7	8	5	1	1
9	80	49	48	29	24	15	10	6	2	1
10	153	94	7	4	1	1	2	1	0	0
11	46	28	58	36	51	31	8	5	0	0

Legenda: 1- R. Alfa ; 2- L. Visível ; 3- Microondas ; 4-Ultra-som ; 5- R. Cósmicos ; 6- R. Zeta ; 7- Urânio ;
8- Magnetismo ; 9- Ondas curtas ; 10- Infravermelhos ; 11- Radão

Valor atribuído: S.R- São radiações; N.S.R- Não são radiações; N.E- Não existem; B- Branco; N- Nulo

Gráfico 3.14 – Resultados obtidos para a questão 7



1- R. Alfa ; 2- L. Visível ; 3- Microondas ; 4-Ultra-som ; 5- R. Cósmicos ; 6- R. Zeta ; 7- Urânio ;
8- Magnetismo ; 9- Ondas curtas ; 10- Infravermelhos ; 11- Radão

Relativamente às radiações electromagnéticas, podemos verificar que existem duas situações distintas. As radiações *Visíveis*, *Microondas* e as *Infravermelhas* que normalmente aparecem referenciadas nos espectros electromagnéticos, apresentados nos manuais escolares, com estas designações, são facilmente identificadas pelos alunos. O mesmo já não acontece com as *Ondas curtas* que normalmente aparecem com a designação de *ondas rádio*. De igual modo, os *Raios cósmicos*, que não são referidos em muitos manuais, são pouco conhecidos dos alunos.

Tal como já se havia verificado a partir dos resultados da questão 4, alguns alunos não distinguem entre som e radiações; 34% dos inquiridos consideraram o *Ultra-som* como sendo uma radiação.

À semelhança dos resultados obtidos nas questões anteriores, também nesta questão se verifica a inexistência de distinção entre radiação e substância radiactiva; 31% dos inquiridos assinalaram o *Urânio* como sendo uma radiação e 28% assinalaram o *Radão*. Um pouco preocupante é a percentagem de inquiridos que afirma que o Radão não existe visto o questionário ter sido distribuído numa região onde existem índices elevados desta substância radiactiva.

Verifica-se ainda que também parece haver uma falta de distinção entre magnetismo e radiação; 26% dos inquiridos assinalaram o *Magnetismo* como sendo uma radiação.

Relativamente às *Radiações alfa* embora não sejam tão conhecidas como as radiações electromagnéticas, mais referenciadas nos manuais, são identificadas pela maioria dos inquiridos.

25% dos inquiridos admitem a existência de uma “radiação” designada por *Raios zeta*.

Como os materiais fornecidos aos alunos e o modo como as aulas foram leccionadas poderiam ter afectado estes resultados ficou resolvido fazer uma análise por turma.

Análise por turmas

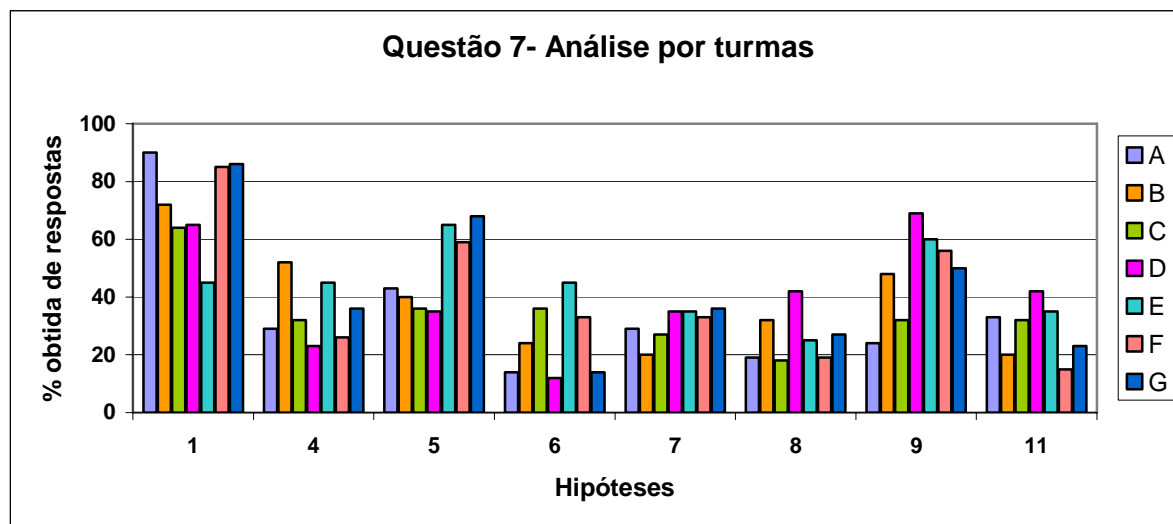
Nesta análise não foram incluídas as radiações *Visíveis*, as *Microondas* e as *Infravermelhas* visto a percentagem de respostas correctas ser bastante elevada.

A tabela 3.38 e o gráfico 3.15 ilustram os resultados obtidos para a questão 7, na análise por turmas.

Tabela 3.38 – Resultados obtidos para a questão 7 (análise por turmas)

A/C	ESCOLA A										ESCOLA B			
	A (21 al)		B (25 al)		C (22 al)		D (26 al)		E (20 al)		F (27 al)		G (22 al)	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	19	90	18	72	14	64	17	65	9	45	23	85	19	86
2	6	29	13	52	7	32	6	23	9	45	7	26	8	36
3	9	43	10	40	8	36	9	35	13	65	16	59	15	68
4	3	14	6	24	8	36	3	12	9	45	9	33	3	14
5	6	29	5	20	6	27	9	35	7	35	9	33	8	36
6	4	19	8	32	4	18	11	42	5	25	5	19	6	27
7	5	24	12	48	7	32	18	69	12	60	15	56	11	50
8	7	33	5	20	7	32	11	42	7	35	4	15	5	23

Gráfico 3.15 – Resultados obtidos para a questão 7 (análise por turmas)



1- R. Alfa ; 4- Ultra-som ; 5- R. Cósmicos ; 6- R. Zeta ; 7- Urânio; 8- Magnetismo ; 9- O. curtas ; 11- Radão

Facilmente se observa que existe uma grande heterogeneidade de resultados. Este facto parece indicar a existência de formas diferentes de leccionar a matéria.

Embora estejam descriminados os resultados para todas as turmas só foi possível fazer a análise do modo como a matéria foi leccionada para cinco turmas (A, B, C, D e E).

Relativamente aos *Raios alfa* a única professora que fez referência a este tipo de radiação foi a da turma A o que parece explicar a percentagem mais elevada de respostas correctas.

Relativamente aos termos *Ultra-som*, *Urânio*, *Magnetismo*, *Ondas curtas* e *Radão* nenhuma professora fez referência a eles nas suas aulas.

Os *Raios cósmicos* foram referidos nas aulas das professoras das turmas A, B, C e E. É de referir que, durante o diálogo estabelecido com a professora da turma E, se verificou a inexistência de distinção entre raios cósmicos e radiação cósmica de fundo. Nenhum dos manuais escolares, adoptados nas duas escolas, fazia referência aos raios cósmicos.

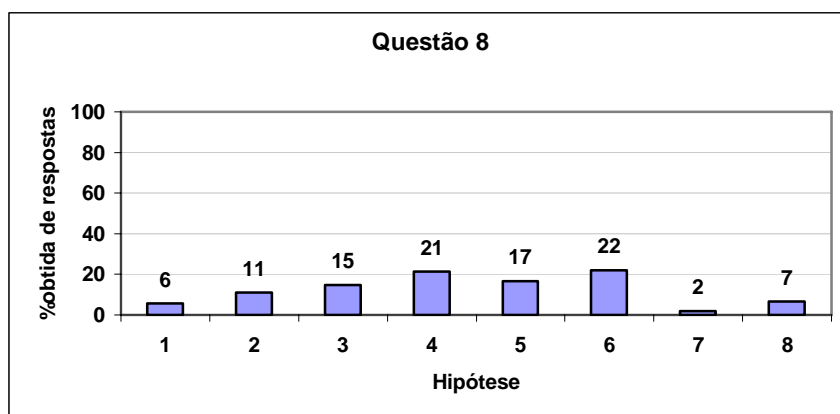
Questão 8: *Tendo em atenção a frase seguinte, “Para indivíduos do público, a Comissão limitou em 5 mSv a dose equivalente anual”. Indique o que esta afirmação representa para si.*

A tabela 3.39 e o gráfico 3.16 ilustram os resultados obtidos para a questão 8, elaborada com o objectivo de averiguar se os inquiridos conseguem distinguir os conceitos de dose letal em 50% e dose equivalente anual, sem um ensino formal sobre o assunto.

Tabela 3.39 – Resultados obtidos para a questão 8

H	NA	%
1	9	6
2	18	11
3	24	15
4	35	21
5	27	17
6	36	22
7- B	3	2
8- N	11	7

Gráfico 3.16 – Resultados obtidos para a questão 8



Legenda:

- 1- Uma dose de radiação equivalente de 5 mSv pode causar a morte em meses.
- 2- Só uma dose de radiação equivalente maior do que 5 mSv é que pode causar a morte no intervalo de tempo de alguns meses.
- 3- Desde que alguém receba menos do que a dose equivalente permitida anual ele ou ela não corre nenhum risco.
- 4- Só uma dose de radiação equivalente superior a 5 mSv, por ano, é que pode causar danos às pessoas mais sensíveis a longo prazo.
- 5- Se a dose de radiação equivalente anual não ultrapassar os 5mSv durante toda a vida da pessoa esta tem pouca probabilidade de contrair cancro provocado por radiações.
- 6- Se a dose de radiação equivalente for superior a 5 mSv num ano 50% da população irá contrair cancro
- 7- B- Branco
- 8- N- Nulo

Como era de esperar, visto o conceito de dose equivalente anual não ter sido leccionado, os inquiridos dividiram-se pelas várias hipóteses apresentadas. Contudo, há uma ligeira preferência pelas hipóteses que referem aspectos relacionadas com a *Dose letal a 50%* (hipótese 4 e 6).

Nenhum aluno sugeriu outra hipótese de resposta.

Questão 9: Aplicações/consequências

A tabela 3.40 e o gráfico 3.17 ilustram os resultados obtidos para a questão 8, elaborada com o objectivo de averiguar as ideias que os inquiridos têm sobre os efeitos positivos/negativos de radiações e substâncias radioactivas, na *Saúde*.

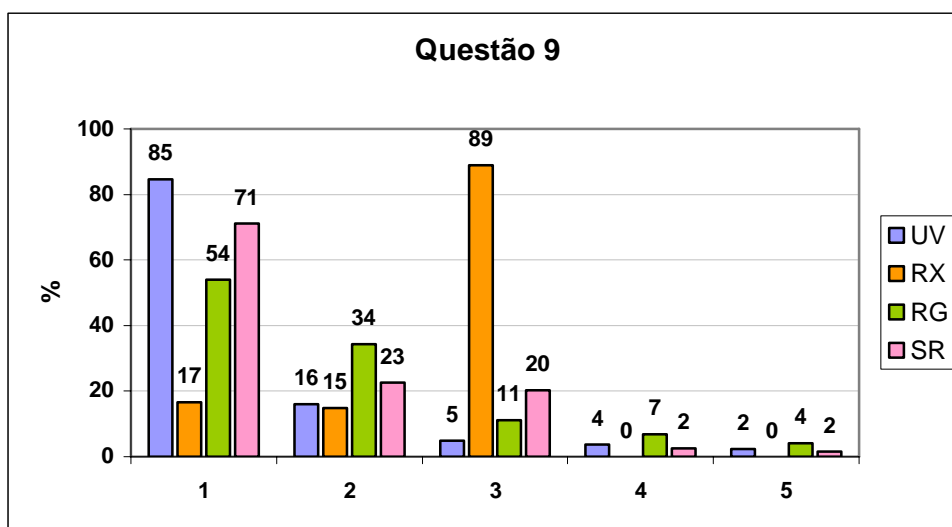
Tabela 3.40 – Resultados obtidos para a questão 9

	Opções									
	P D		C D		D D		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
UV	138	85	26	16	8	5	6	4	4	2
RX	27	17	24	15	145	89	0	0	0	0
RG	88	54	56	34	18	11	11	7	7	4
SR	116	71	37	23	33	20	4	2	2	2

Legenda: UV- Rad.Ultravioleta; RX- Raios X; RG- Raios Gama; SR- Substâncias Radioactivas

Valor atribuído: PD- Provocar doenças; CD- Curar doenças; DD- Diagnosticar doenças; B- Brancos; N- Nulos

Gráfico 3.17 – Resultados obtidos para a questão 9



1- Podem provocar doenças; 2- Podem curar doenças; 3- Podem ser usadas para diagnosticar doenças;
4- Brancos; 5- Nulos

Através da análise dos resultados obtidos para esta questão verifica-se claramente que os inquiridos pensam que uma radiação que é usada para diagnosticar doenças dificilmente pode provocar doenças (Raios X: 89% dos inquiridos referem o diagnóstico mas só 17% referem que pode provocar doenças). De igual modo, são poucos os inquiridos que admitem a utilização das radiações e das substâncias radiactivas no tratamento das doenças.

Tal como já se havia verificado na questão 4, também aqui se verifica um desconhecimento dos processos físicos que estão por detrás dos exames e tratamentos clínicos.

Efectuou-se ainda uma análise por turmas para os raios X, visto estes serem muito utilizados em exames efectuados na faixa etária dos inquiridos.

Análise por turma

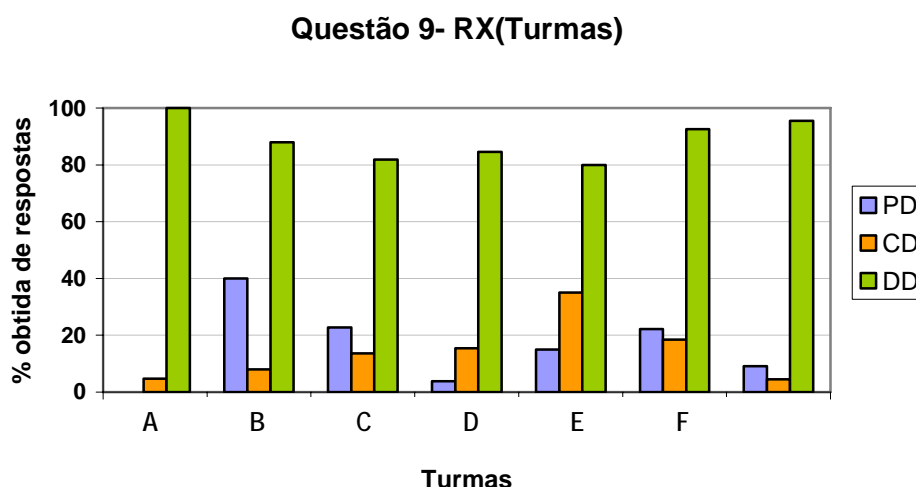
A tabela 3.41 e o gráfico 3.18 ilustram os resultados obtidos para a questão 9, na análise por turmas.

Tabela 3.41 – Resultados obtidos para a questão 9 (Raios X- análise por turmas)

A/C	ESCOLA A										ESCOLA B			
	A (21 al)		B (25 al)		C (22 al)		D (26 al)		E (20 al)		F (27 al)		G (22 al)	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
PD	0	0	10	40	5	23	1	4	3	15	6	22	2	9
CD	1	5	2	8	3	14	4	15	7	35	5	19	1	5
DD	21	100	22	88	18	82	22	85	16	80	25	93	21	95

Legenda: PD- Provocar doenças; CD- Curara doenças; DD- Diagnosticar doenças; B- Brancos; N- Nulos

Gráfico 3.18 – Resultados obtidos para a questão 9 (Raios X- análise por turmas)



PD- Podem provocar doenças; CD- Podem curar doenças; DD- Podem ser usadas para diagnosticar doenças

Mais uma vez, embora estejam discriminados os resultados para todas as turmas só foi possível fazer a análise do modo como a matéria foi leccionada para cinco turmas (A, B, C, D e E).

Após dialogar com as professoras foi possível averiguar que, a professora das turmas B e C abordou os meios de protecção contra os raios X nas suas aulas o que parece explicar as percentagens mais elevadas obtidas nestas turmas, para a hipótese “podem provocar doenças”.

Questão 10: *Classifique as frases seguintes em correcta ou incorrecta*

A tabela 3.42 e o gráfico 3.19 ilustram os resultados obtidos para a questão 10 que foi elaborada com o objectivo de averiguar a persistência de ideias incorrectas sobre radiações solares, após o ensino formal sobre o assunto.

Na escola A foi analisada uma ficha sobre o efeito das radiações solares na pele, (esta ficha pode ser consultada no anexo G) onde se procurava abordar algumas ideias incorrectas sobre o assunto. Essa ficha foi explorada em duas aulas de 50 minutos, no mês de Janeiro, tendo os alunos sido informados de que esta abordava matéria de cultura geral e que não seria objecto de avaliação em nenhum teste de avaliação.

Na escola B, o manual adoptado abordava o assunto e apresentava uma actividade prática de sala de aula onde eram apresentadas várias ideias incorrectas sobre radiações solares (esta actividade está parcialmente transcrita na secção 2.4.1.3, página 56).

Todas as frases diziam respeito a assuntos abordados nas aulas, de todas as turmas, excepto a frase dois que não era abordado em nenhum dos materiais de apoio usados e a frase sete que só era abordado na ficha usada na escola A.

Como todas as frases apresentadas continham ideias incorrectas, os alunos deveriam seleccionar a opção “incorrecto” para todas as frases.

Tabela 3.42 – Resultados obtidos para a questão 10 (comparação dos resultados obtidos nas escolas A e B).

Frase	ESCOLA A (114 alunos)								ESCOLA B (49 alunos)							
	Cor.		Inc.		B		N		Cor.		Inc.		B		N	
	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%	NA	%
1	5	4	108	95	1	1	0	0	6	12	42	86	1	2	0	0
2	43	38	69	61	2	2	0	0	15	31	32	65	2	4	0	0
3	51	45	63	55	0	0	0	0	21	43	28	57	0	0	0	0
4	18	16	96	84	0	0	0	0	11	23	36	73	2	4	0	0
5	39	34	72	63	3	3	0	0	22	45	26	53	1	2	0	0
6	53	46	60	53	1	1	0	0	34	69	15	31	0	0	0	0
7	79	69	35	31	0	0	0	0	29	59	19	39	1	2	0	0

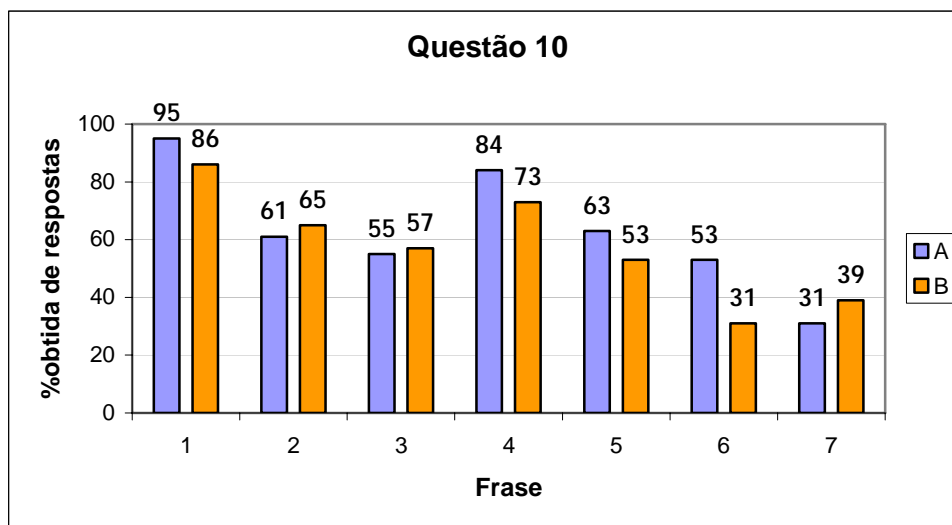
Legenda:

- 1- As radiações solares só são perigosas quando está calor.
- 2- As radiações usadas nos solários (clínicas para bronzear) não são tão perigosas como as do Sol.
- 3- As radiações do Sol são mais perigosas na praia do que nas montanhas.
- 4- As radiações do Sol não são perigosas quando o tempo está encoberto.
- 5- Se colocarmos protector solar várias vezes ao dia podemos estar todo o dia na praia.
- 6- Se estivermos debaixo do chapéu-de-sol nas horas em que o Sol está mais alto estamos protegidos das radiações mais perigosas.
- 7- Deve-se colocar os bronzeadores antes de sair de casa porque eles demoram a fazer efeito.

Opções: Cor. – a frase era considerada correcta; Inc. – a frase era considerada incorrecta

B – respostas em branco; N – respostas anuladas

Gráfico 3.19 – Percentagem de alunos que escolheram a opção “**incorrecto**” na questão 10 (comparação dos resultados obtidos nas escolas A e B).



Da análise dos resultados podemos concluir que as ideias incorrectas 1 e 4 facilmente podem ser corrigidas através do ensino formal o mesmo já não se pode dizer das ideias incorrectas 2, 3, 5, 6 e 7.

Atendendo à percentagem de alunos que apresenta a ideia incorrecta 2, que não foi abordada em nenhum dos materiais de apoio, parece ser conveniente explicitar este assunto nas aulas quando se abordam os efeitos das radiações solares na saúde humana.

O facto de os resultados da ideia incorrecta 3 serem baixos pode dever-se ao facto de alguns alunos não terem considerado só a radiação directa do Sol mas também a radiação reflectida. Alguns alunos referiram o facto de que a sua resposta dependia se na situação apresentada havia neve ou não. Para que não surjam dúvidas em questionários futuros, esta frase deverá ser reformulada. Uma proposta poderá ser “ As radiações directas do Sol são mais perigosas na praia do que nas montanhas.” Os resultados obtidos para esta questão também alertam para a necessidade de aprofundar o fenómeno de absorção das radiações que ocorre na atmosfera e a reflexão das radiações. Poderia ser útil analisar a dose de exposição a radiações UV a que uma pessoa estaria sujeita, no mesmo dia, durante o mesmo intervalo de tempo em condições diferentes: 1- ao nível do mar, junto à água e na areia; 2- ao nível do mar, afastado da água e na areia; 3- ao nível do mar, na areia, debaixo do guarda-sol; 4- ao nível do mar e no passeio da rua; 5- numa localidade do interior, a uma altitude relevante e no passeio da rua.

A ideia incorrecta 5 foi abordada em todas as turmas. Contudo, uma percentagem significativa de alunos continua a manifestar esta ideia. No capítulo 4 é apresentada uma estratégia para ajudar a corrigir esta ideia.

Relativamente à ideia incorrecta 6, tal como já foi referido para a ideia incorrecta 5, a promoção da mudança conceptual não foi muito eficaz. A escola A obteve resultados ligeiramente melhores possivelmente porque no material de apoio usado, nesta escola, era analisado o exemplo do chapéu-de-sol.

Na ideia incorrecta 7 por lapso foi usado o termo “bronzeador” em vez de “protector solar” o que pode ter induzido em erro os inquiridos. A baixa percentagem de respostas correctas também se pode dever ao facto da frase ser parcialmente correcta, ou seja, os protectores solares devem ser colocados antes de sair de casa, só que a razão para este procedimento não é o tempo que demoram a fazer efeito. Esta questão também deverá ser reformulada para não criar dúvidas. Uma proposta de alteração pode ser “O efeito de protecção dos protectores solares só começa a manifestar-se passado algum tempo após a sua aplicação.”

Se compararmos os resultados obtidos pelos inquiridos das duas escolas parece haver mais sucesso na promoção de uma alteração conceptual, na escola A, no entanto esta diferença não é significativa. Não se pode deste modo concluir qual das estratégias é mais eficaz.

De modo a analisar a influência de outros factores, para além dos materiais de apoio usados, é apresentada a seguir a análise por turmas.

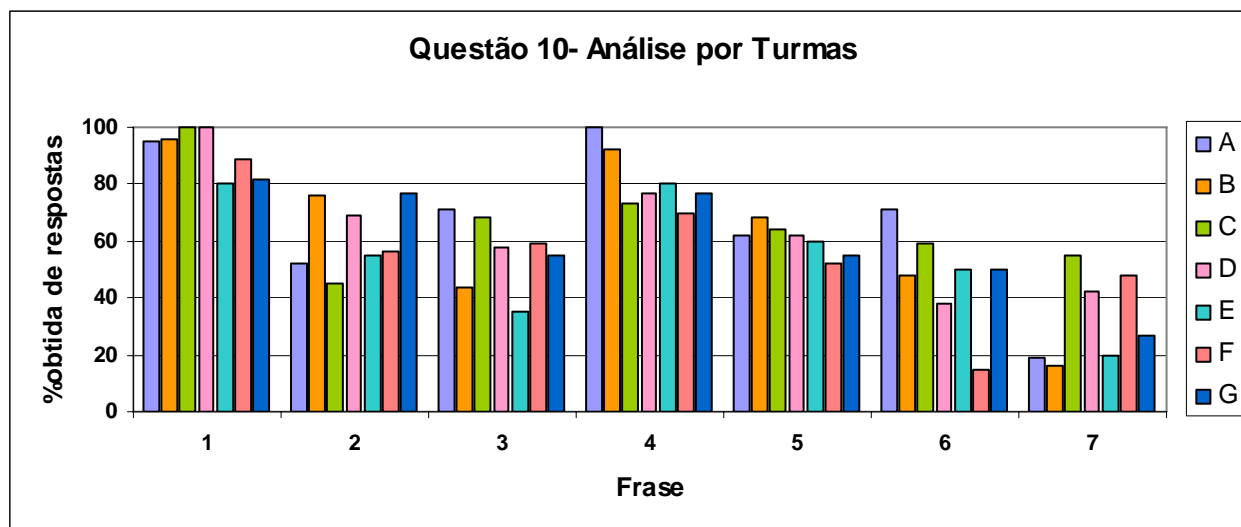
Análise por turmas

A tabela 3.43 e o gráfico 3.20 ilustram os resultados obtidos para a questão 10, para a análise por turmas.

Tabela 3.43– Perc. de alunos que escolheram “*incorrecto*” (comparação dos resultados obtidos por turmas).

I. I.	Escola A					Escola B	
	A (21 al)	B (25 al)	C (22 al)	D (26 al)	E (20 al)	F (27 al)	G (22 al)
	%	%	%	%	%	%	%
1	95	96	100	100	80	89	82
2	52	76	45	69	55	56	77
3	71	44	68	58	35	59	55
4	100	92	73	77	80	70	77
5	62	68	64	62	60	52	55
6	71	48	59	38	50	15	50
7	19	16	55	42	20	48	27

Gráfico 3.20– Perc. de alunos que escolheram “*incorrecto*” (comparação dos resultados obtidos por turmas).



Desta análise por turmas verifica-se que os resultados obtidos dependem não só dos materiais de apoio, usados na leccionação do tema, mas também da forma como esses materiais são usados pelo professor. Contudo, seria necessário realizar uma análise mais detalhada das circunstâncias em que estes materiais de apoio foram aplicados para se poderem tirar conclusões mais concretas. Em estudos futuros deveria analisar-se os resultados obtidos em duas turmas, com características sócio-culturais diferentes, em

que fosse aplicada a mesma metodologia. Também se deveria analisar a aplicação de metodologias diferentes a turmas com as mesmas características sócio-culturais.

3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO PILOTO

Este estudo foi realizado para investigar o interesse e o conhecimento que os alunos têm sobre as aplicações das radiações na saúde e caracterizar as concepções incorrectas sobre as radiações, no domínio da saúde. Para concretizar estes objectivos, foram formuladas as seguintes questões de investigação, que se reescrevem para maior conforto na leitura.

A- Quais são os domínios de contextos, em que são utilizadas radiações, que mais interessam aos alunos que estão a frequentar cursos de ciências?

B- Qual é o grau de conhecimento que os alunos, no ensino secundário, têm sobre as aplicações das radiações na Saúde?

C- Quais são as ideias incorrectas, sobre radiações, que têm mais incidência entre os alunos dos cursos de ciências?

D- Em que extensão é que estas ideias são um obstáculo para a ponderação dos riscos inerentes à utilização de radiações?

Partia-se, assim, do pressuposto de que a ausência de informação ou a aquisição de informação incorrecta iria conduzir à formulação de ideias incorrectas que iriam afectar a ponderação de risco inerente a uma determinada situação. Esta avaliação incorrecta poderia levar os indivíduos a optarem por medidas de segurança que não seriam eficazes, na situação considerada, advindo daí consequências nefastas para a saúde.

Resumo dos resultados obtidos

A- Interesse dos inquiridos nos diferentes domínios de contextos e os motivos inerentes a esse interesse

Este estudo mostrou que, os alunos que estão a frequentar o 10º ano de escolaridade da área de Ciências, têm interesse em estudar o tema *Radiações* no domínio de contextos *Saúde* (55% dos inquiridos consideraram que este contexto seria o mais interessante). E, embora o estudo tenha mostrado que os interesses dos rapazes são ligeiramente diferentes dos das raparigas (as raparigas preferem claramente o domínio

de contexto *Saúde* enquanto que os rapazes para além deste domínio escolhem *Armas Nucleares*), ambos os sexos consideram-no interessante.

Relativamente aos motivos apresentados, para fundamentar o interesse demonstrado num determinado contexto, verificou-se que eram muito variados. A tabela 3.44 apresenta um resumo dos motivos, que foram referidos mais vezes, para cada domínio de contextos.

Tabela 3.44 – *Motivos apresentados para fundamentar o interesse num determinado domínio de contexto.*

Domínio de Contextos	Motivos
Saúde	Conhecer os efeitos prejudiciais das radiações. Conhecer as medidas de protecção mais adequadas para cada tipo de radiação e de situação. Conhecer as aplicações das radiações.
Produção de Energia	Preocupação com a escassez dos recursos energéticos. Compreender o processo de produção de energia eléctrica. Interesse em melhorar os processos de obtenção de energia.
Armas Nucleares	Interesse por armas e guerras. Receio das consequências. Tema actual.
Indústria e Agricultura	Preocupação com as consequências. Aumentar o conhecimento sobre o assunto.
Cosmos	Conhecer a história do Universo. Conhecer o Universo.

Ao analisar os motivos apresentados pelos inquiridos verifica-se que estes, mesmo quando não seleccionam o domínio de contextos *Saúde*, apresentam preocupações com as consequências que as radiações poderão ter na saúde (ver *Armas Nucleares* e *Indústria*).

As questões 2 e 3 tinham por objectivo averiguar a influência da situação mundial na avaliação do perigo e no interesse num determinado contexto.

Na tabela 3.45 são apresentados os resultados obtidos nas duas questões, para facilitar uma análise comparativa das respostas dadas às duas questões.

Tabela 3.45 – Resultados obtidos nas questões 2 e 3.

	Q2 – Mais provável			Q3 – Piores Consequências		
	Toda a amostra	Sexo F	Sexo M	Toda a amostra	Sexo F	Sexo M
A. Bombas Nucleares	52	55	46	72	77	62
A. Bombas Químicas	48	46	46	60	60	61
Terramoto	34	36	32	13	14	11
D. Centrais Nucleares	29	36	28	34	32	38
A. Bombas Convencionais	24	20	31	2	6	0

Os resultados obtidos na questão 2 não estão, inteiramente, de acordo com a hipótese formulada no início deste estudo. Embora vivamos numa época em que os meios de comunicação social relatam, quase todos os dias, incidentes com bombas convencionais, e em que se fala frequentemente em eventuais ataques com armas químicas, os inquiridos consideram os ataques com bombas nucleares como sendo os mais prováveis, colocando-os mesmo à frente de terremotos, que ocorrem com uma frequência elevada.

Atendendo a que os resultados obtidos foram diferentes dos esperados surgiu a necessidade de formular outra questão, *Por que razão os ataques com Bombas Nucleares são considerados muito prováveis?*

A resposta para esta pergunta poderá ser estar nos resultados da questão 3. Verifica-se, nos resultados obtidos para esta questão, que os inquiridos também temem as Bombas Nucleares devido às suas consequências. Surgiu, assim, a seguinte dúvida, *Poderá o receio das consequências condicionar a análise de uma situação, podendo mesmo afectar a avaliação da probabilidade de uma situação ocorrer?*

É interessante verificar que os inquiridos consideram os acidentes em Centrais Nucleares muito menos prováveis e muito menos perigosos do que os ataques com Bombas Nucleares, apesar dos primeiros já terem ocorrido mais vezes e há menos tempo.

Mais uma vez, parece pertinente colocar outra questão. *Quais serão as causas dessas diferenças?* Este assunto é analisado mais profundamente no capítulo 4.

Também é de salientar a elevada percentagem de inquiridos que receia um ataque com *Armas nucleares* quer por o acharem muito provável quer por temerem as consequências desse tipo de ataque. Não se verificou portanto a hipótese, formulada no

início deste estudo, de que o receio de certos acontecimentos dependeria grandemente das notícias veiculadas pelos meios de comunicação.

B- Conhecimento dos inquiridos sobre as aplicações médicas.

Relativamente às aplicações médicas das radiações verificou-se que algumas são relativamente conhecidas (IRM, TAC, radiografia convencional) enquanto que outras são completamente desconhecidas (fluoroscopia, cintigrafia, angiografia). Parece haver um desconhecimento dos processos físicos que estão por detrás dos exames e tratamentos clínicos e algumas ideias incorrectas como inexistência de distinção entre som e radiação.

C- Ideias incorrectas que possam dificultar a ponderação de risco

Embora haja alguma distinção entre os perigos causados por uma substância radioactiva e os causados por uma radiação ionizante verifica-se que existe uma percentagem significativa de inquiridos que selecciona medidas de segurança que não seriam eficazes em algumas situações. Esta selecção, mesmo quando correcta, parece ter sido influenciada por ideias incorrectas sobre as radiações. É apresentada a seguir uma lista das ideias incorrectas detectadas.

- Não parece haver a noção de que também poderão existir partículas sólidas radioactivas em suspensão.
- Se removermos as substâncias radioactivas de um local elas deixam de existir.
- Os ecrãs de chumbo absorvem substâncias em vez de radiações.
- A bata de algodão protege contra qualquer radiação existente num laboratório.
- As substâncias radioactivas podem fazer incendiar a roupa.
- As radiações poderão provocar o aparecimento de substâncias perigosas nos alimentos.
- As radiações podem ficar acumuladas nos alimentos.
- Inexistência de distinção entre radiação e substância radioactiva.
- As radiações acumulam-se.
- As radiações são ou produzem substâncias tóxicas.
- O movimento faz diminuir a exposição.
- A quantidade de ar faz diminuir o perigo.
- Os raios X absorvidos podem provocar uma explosão.
- As radiações podem provocar mutações no aspecto físico
- Qualquer tipo de material é eficaz na protecção contra os raios X

- A água diminui ou destrói as radiações
- Inexistência de distinção entre radiações, som e magnetismo.
- Inexistência de distinção entre raios cósmicos e radiação cósmica de fundo

Nesta lista são apresentadas todas as ideias incorrectas detectadas, mesmo que a percentagem de alunos que as manifestou seja pequena, pois pretende-se que este trabalho possa servir como um instrumento de base para estudos futuros. Este conjunto de ideias incorrectas não pretende ser o único possível, mas reflecte e sistematiza as identificadas.

Para além das ideias incorrectas, para dificultar ainda mais a análise do risco associado a uma determinada situação, verificou-se o desconhecimento da existência de alguns tipos de radiações e a incompreensão de certos conceitos. Os inquiridos tiveram dificuldade em compreender o significado de *dose equivalente anual* visto este conceito não ter sido leccionado.

Verificou-se ainda que, mesmo quando se tinha em atenção as ideias incorrectas dos alunos durante a leccionação, algumas prevaleciam após o ensino formal. O papel do professor parece ser determinante neste aspecto pois turmas que usaram os mesmos materiais de apoio obtiveram resultados muito diferentes. Seria interessante, em estudos posteriores, que para além da influência dos materiais de apoio e do professor fosse analisada a situação social do aluno.

Sugestões

Em estudos posteriores talvez fosse bom reconsiderar o termo “*Cosmos*” e “*Bombas convencionais*” porque alguns alunos parecem não ter compreendido a abrangência destes termos.

O questionário deveria ter algumas questões que permitissem a identificação da situação social do aluno.

Para além do questionário seria conveniente gravar as aulas dos professores para analisar o modo como os assuntos foram leccionados.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES DO ESTUDO

A necessidade de alterar o ensino das ciências tem sido sentida nas últimas décadas, com a constatação da disparidade entre os interesses da sociedade e a escola. Apesar da ciência ser parte directa, ou indirecta, da realidade vivida pelas pessoas, são poucas as vezes em que a relação entre a ciência, a tecnologia e a sociedade é explorada no ensino das ciências. Estando a ser iniciada uma reforma curricular, considerou-se importante analisar a forma como o tema *Radiações* é abordado nos novos programas procurando averiguar a eficácia das opções feitas e investigando novas formas de o leccionar segundo uma perspectiva de desenvolvimento, nos alunos, de uma cultura Científica, Tecnológica e Social. Tendo em vista este propósito, o objectivo deste trabalho é procurar encontrar estratégias para ensinar o tema *Radiações* de modo a desenvolver nos estudantes as capacidades necessárias para poderem avaliar as vantagens e as desvantagens inerentes à utilização das radiações.

Com base no objectivo pretendido formulou-se a seguinte questão de pesquisa geral:

“Quais são as condições curriculares, e de leccionação, que têm de ser cumpridas de modo a promover uma análise e uma avaliação cuidadosa sobre as vantagens *versus* desvantagens da utilização das radiações, na saúde dos cidadãos?”

Atendendo à complexidade dos aspectos que teriam de ser analisados para responder a esta questão, optou-se por um método de estudo que consistiu em dividir o estudo principal em quatro outros estudos. Os resultados desses estudos foram apresentados nos capítulos 2 e 3 e as conclusões são apresentadas neste capítulo.

Procuraremos, neste capítulo, reconsiderar os resultados desses estudos conjuntamente numa tentativa de encontrar uma resposta para a questão de pesquisa geral.

4.1. CONCLUSÕES

Conforme já foi referido, neste trabalho foram estudados vários aspectos relacionados com o ensino do tema *Radiações*, tais como: contextos e conceitos; concepções alternativas; abordagem dos manuais escolares referentes ao tema; persistência das concepções alternativas e atitudes em relação ao risco associado às radiações.

A análise destes aspectos permitiu que se tirassem algumas conclusões, as quais são analisadas nas secções seguintes.

4.1.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS VÁRIAS VERTENTES ABORDADAS

I – Contextos e conteúdos adequados à leccionação das radiações tendo em vista a avaliação das vantagens/desvantagens, para a saúde, da sua utilização.

Pretende-se que os *curricula* de Física forneçam aos jovens um capital intelectual que lhes permita lidar com as situações com que se poderão confrontar na sua vida futura e, sobretudo, poderem efectuar decisões ponderadas. Ao mesmo tempo, face ao decrescente apreço que os jovens detêm pela Física, pretende-se que estes *curricula* atraiam os alunos para as matérias científicas. A articulação destes objectivos com o pouco tempo curricular disponível para as ciências nem sempre é fácil e acarreta, muitas vezes, uma verdadeira decantação de conteúdos essenciais e potencialmente significativos.

Surgiu assim a necessidade de, em primeiro lugar, averiguar quais são os domínios de contextos que mais interessam aos alunos e as razões desse interesse; em segundo lugar, investigar o grau de conhecimento que os alunos têm no final do 10.º ano sobre as aplicações das radiações na saúde; em terceiro lugar, pesquisar quais são os contextos mais adequados para atingir os objectivos propostos; em quarto lugar, pesquisar quais são os conteúdos científicos mais importantes para capacitar os alunos do conhecimento necessário para identificarem e ponderarem os riscos, não como peritos mas sim como cidadãos informados, capazes de recolherem e usarem informações para tomarem decisões acertadas.

I.A – Interesse dos alunos sobre diferentes Domínios de Contextos

Este estudo foi guiado pela seguinte questão de pesquisa:

Quais são os domínios de contextos, em que são utilizadas as radiações, que mais interessam aos alunos que estão a frequentar cursos de ciências?

O estudo realizado mostrou que o Domínio de Contextos que mais interessava aos inquiridos era *Saúde* (55% considerava que o estudo deste domínio de contextos seria o mais interessante). Embora se tenha verificado que os interesses dos rapazes são ligeiramente diferentes dos das raparigas (estas preferem claramente o Domínio de Contextos *Saúde* enquanto que os rapazes para além deste domínio são sensíveis ao Domínio de Contextos *Armas Nucleares*) ambos os sexos consideram-no interessante.

Para melhor ir ao encontro das expectativas dos alunos, no estudo deste Domínio procurou-se, também, conhecer as razões do interesse manifestado e concluiu-se que as razões apresentadas, pela maioria dos inquiridos, estavam relacionadas com a qualidade de vida das pessoas. Manifestavam interesse em conhecer os efeitos prejudiciais das radiações, as medidas de protecção mais adequadas e as aplicações que as radiações têm na saúde.

I.B – Grau de conhecimento que os alunos têm no final do 10.º ano sobre as aplicações das radiações na saúde.

Questão que guiou a pesquisa:

Qual é o grau de conhecimento que os alunos, no ensino secundário (10.º ano), têm sobre as aplicações das radiações na saúde?

Relativamente às aplicações médicas das radiações, verificou-se que algumas são relativamente conhecidas (IRM, TAC, radiografia convencional) enquanto que outras são completamente desconhecidas (fluoroscopia, cintigrafia, angiografia). Contudo, verificou-se que mesmo nas aplicações mais conhecidas havia um desconhecimento dos processos físicos que estão por detrás dessas aplicações. Embora os alunos saibam que são utilizadas radiações desconhecem o tipo de radiações usadas e que o mesmo tipo de radiação pode ser usado com diferentes objectivos. Atendendo ao que se acaba de referir, uma ilação que imediatamente se pode tirar é que estes resultados são preocupantes porque mostram que o cidadão comum não faz a mínima ideia do que se

passa no seu organismo quando se submete a alguns exames e, portanto, toma decisões sem estar apto a ponderar as consequências que poderão resultar dessas decisões.

I.C – Contextos adequados à leccionação das radiações no Domínio de Contexto Saúde.

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são os contextos, sobre radiações, que poderão ser incluídos no ensino secundário e que são apropriados para abordar o tópico saúde?

Atendendo aos motivos que os inquiridos apresentaram para preferirem o Domínio de Contextos *Saúde*, os contextos seleccionados deveriam focar os efeitos das radiações nos seres vivos e a radioprotecção. Deste modo, um dos contextos poderia ser a *Realização de um exame e/ou um tratamento clínico*. Como também se verificou que os alunos do sexo masculino manifestavam um elevado interesse pelo Domínio de Contextos *Armas Nucleares*, outro contexto poderia ser a *Explosão de uma arma nuclear*. Este contexto permitiria a análise do que acontece quando estas armas deflagram; importante para esclarecer que a explosão não é provocada pelas radiações e que as causas da maior parte das mortes são o vento e o aumento de temperatura que ocorre aquando da explosão. Este contexto permitiria, ainda, distinguir irradiação de contaminação e estudar o fenómeno da radioactividade. Contudo, este contexto não deverá ser usado em detrimento do anteriormente indicado. Embora o contexto *Explosão de uma arma nuclear* vá ao encontro de algumas concepções alternativas detectadas nos alunos, a sua contribuição para melhorar a imagem das aplicações das radiações na saúde e para a compreensão dos fenómenos envolvidos não será tão significativa como o contexto *Realização de um exame e/ou um tratamento clínico*.

I.D – Conteúdos adequados à leccionação das radiações no Domínio de Contextos Saúde

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são os conteúdos científicos que deverão ser abordados de modo a estimular uma avaliação cuidada dos benefícios e das consequências nefastas para a saúde, nos contextos seleccionados?

Para além do conhecimento básico sobre física atómica e nuclear, necessário para se efectuar a distinção dos diferentes tipos de radiações e compreender o fenómeno da radioactividade, foi possível verificar, da análise das respostas dadas no questionário, que é necessário explicar a forma como as radiações interactivam com a matéria viva e as formas de protecção existentes. A abordagem dos fenómenos elementares que ocorrem quando as radiações interactivam com a matéria, efectuada no programa actual, não é suficiente para que os estudantes sejam capazes de ponderar os riscos associados às radiações e seleccionar os métodos de protecção mais adequados em cada situação.

Tendo em vista a ponderação dos riscos, verifica-se ser necessário introduzir uma noção de escala. A compreensão de que um tipo de radiação pode provocar doenças e que igualmente pode ser usado para tratar doenças implica que os alunos tenham uma noção da dimensão do efeito produzido por uma determinada radiação, o que só será conseguido através do estudo de algumas grandezas e unidades associadas às radiações. É impossível fazer julgamentos justos, sobre as vantagens e desvantagens de uma determinada aplicação, se não se tiver uma firme noção de escala. Ao olhar-se para o mundo sem uma escala facilmente os benefícios das radiações são diminuídos e os problemas exagerados ou vice-versa.

II – Concepções alternativas que podem dificultar a avaliação das vantagens *versus* desvantagens, para a saúde, da utilização das radiações

Vários estudos mostraram que existem certas ideias sobre radiações que são diferentes das ideias científicas, ideias essas que parecem influenciar, em maior ou menor grau, a aprendizagem dos conceitos científicos. O processo inverso também parece ser válido. A aprendizagem incorrecta de certos conceitos faz com que certas concepções alternativas persistam após o ensino formal. É importante salientar que, embora estas concepções alternativas dificultem a aprendizagem, não se deve atribuir-lhes uma conotação negativa, mas sim encará-las como formas de organizar e dar significado às vivências de cada sujeito. Este facto explica a razão da utilização do termo “concepções alternativas” neste trabalho, para designar estas mesmas ideias.

Sendo o conhecimento destas concepções alternativas, e da sua origem, fundamental para a construção do conhecimento científico, estas são uma das vertentes analisadas no presente estudo.

II.A – Concepções alternativas veiculadas pelos *media*

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são as concepções alternativas, sobre as radiações, que podem ser detectadas nas notícias e nos anúncios?

Atendendo a que estudos sobre concepções alternativas referiam que os jornais e anúncios podiam ser uma das suas origens, efectuou-se uma pequena pesquisa para verificar a situação actual, no que diz respeito a concepções alternativas sobre radiações.

Facilmente se verificou que elas existiam e que não se limitavam somente às radiações ionizantes. Nomeadamente, detectaram-se concepções alternativas sobre a radioactividade, risco da radiação e medidas de segurança. Verificou-se também que as conotações negativas associadas ao termo “radiação”, já referidas na literatura para as radiações ionizantes, também apareciam em textos sobre radiações não-ionizantes.

A principal ilação deste estudo não foi ter-se verificado que existiam concepções alternativas nos *media*, visto estudos anteriores já o terem referido, mas antes ter-se verificado que é possível utilizar notícias actuais como materiais de apoio para discutir certas concepções alternativas com os alunos. Como os *media* têm grande influência na opinião pública, a utilização de artigos de jornais poderá ajudar os alunos a fazerem uma leitura mais crítica destes textos.

II.B – Concepções alternativas sobre radiações

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são as concepções alternativas sobre as radiações?

Embora existam vários tipos de concepções alternativas sobre radiações, este estudo centrou-se nas que estão relacionadas com a saúde. A partir das respostas dadas pelos alunos, ao questionário, foi possível detectar várias concepções alternativas relacionadas com efeitos das radiações e a radioprotecção. Apresentam-se a seguir algumas dessas concepções alternativas.

- Os ecrãs de chumbo absorvem substâncias em vez de radiações.
- As substâncias radiactivas podem inflamar a roupa.
- As radiações podem provocar o aparecimento de substâncias perigosas nos alimentos.
- As radiações podem ficar acumuladas nos alimentos.
- Os raios X absorvidos podem originar uma explosão.
- A água diminui ou destrói as radiações
- Não é feita a distinção entre fontes radiactivas e fontes de raios X.
- A substância radiactiva é sempre perigosa.
- Se removermos as substâncias radiactivas de um local fechado elas deixam de constituir um perigo.
- A bata de algodão protege contra raios X e contra a radiação emitida por substâncias radiactivas.
- O movimento faz diminuir a exposição a radiações.
- A quantidade de ar faz diminuir o perigo das radiações.

A detecção destas concepções alternativas, em alunos do ensino secundário, é importante não só por se ter verificado que elas persistiam após o ensino formal mas também por se ter verificado que estas poderão afectar a ponderação do risco envolvido em certas situações.

III – Problemas encontrados no ensino das *Radiações* na área da *Saúde*

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são os problemas de leccionação e aprendizagem que foram detectados, ao ensinar o tema *Radiações* no tópico *Saúde*?

Uma das causas que pode estar na origem de uma deficiente ponderação de risco poderá ser a abordagem indicada pelo programa actual e a seguida pelos manuais escolares na leccionação deste tema. Outra causa poderá ser a persistência das concepções alternativas, mesmo após o ensino formal. Nesta secção são apresentados os resultados obtidos, neste estudo, para estes assuntos.

III. A – Abordagem do programa de *Física e Química A* (primeiro ano) ao tema Radiações

Transcrevem-se a seguir os objectivos de aprendizagem indicados no programa de *Física e Química A*, sobre aplicações das radiações na área da Saúde, efeitos das radiações e radioprotecção.

Objectivos de aprendizagem sobre efeitos das radiações:

- “Comparar radiações (UV, VIS e IV) quanto à sua energia e efeito térmico.”
- “Identificar algumas aplicações tecnológicas da interacção radiação-matéria, nomeadamente o efeito fotoeléctrico.”
- “Interpretar a formação dos radicais livres da atmosfera (...) como resultado da interacção entre radiação e matéria.”
- “Explicar o resultado da interacção da radiação de energia mais elevada na ionosfera e mesosfera, em termos de ionização, atomização (ruptura de ligações) e aceleração das partículas.”
- “Enumerar alguns dos efeitos da acção de radicais livres na atmosfera sobre os seres vivos.”

Objectivos de aprendizagem sobre aplicações das radiações na área da Saúde:

- “Associar fenómenos nucleares a diferentes contextos de utilização (por exemplo, (...), meios de diagnóstico e tratamento clínicos).”
- “Identificar equipamentos diversos que utilizam diferentes radiações (por exemplo, instrumentos LASER, (...) e aparelhos de raios X).”

Objectivos de aprendizagem sobre radioprotecção

- “Conhecer formas de caracterizar a radiação incidente numa superfície - filtros mecânicos e filtros químicos.”
- “Interpretar o modo como actua um filtro solar.”
- “Indicar o significado de “índice de protecção solar”.”

Conforme se pode verificar a partir desta lista de objectivos de aprendizagem, embora já exista neste programa alguma preocupação em apresentar algumas aplicações das radiações na saúde e em focar alguns aspectos da radioprotecção, estes assuntos são

abordados muito superficialmente. A excepção é a radiação UV que é alvo de um tratamento mais aprofundado.

III.B – Abordagem dos manuais escolares ao tema *Radiações*

Como os manuais escolares são materiais de apoio muito utilizados no ensino português começou-se por investigar como é que estes abordavam o tema *Radiações*, em especial analisou-se se estes focavam aspectos relacionados com os efeitos, as aplicações e a protecção. Neste estudo também se teve a preocupação de averiguar a ênfase que era dada às concepções alternativas sobre radiações.

Questão que guiou a pesquisa:

Qual é a abordagem que os manuais escolares usam para leccionar o tema *Radiações*?

A análise dos manuais mostrou que já existe alguma preocupação com os aspectos CTS relacionados com a saúde, embora na maior parte das vezes as aplicações ainda apareçam como ilustração e que a maioria não aborda os efeitos biológicos das radiações, bem como os princípios da protecção, com a excepção dos relacionados com a radiação UV. Isto deve-se, provavelmente, ao facto de os “Filtros solares” serem os únicos objectos de ensino sobre radioprotecção referidos no programa de *Física e Química A* (primeiro ano).

Embora em número limitado, alguns manuais já incluem concepções alternativas, de modo intencional, tendo em vista fins educacionais. Contudo, também se verificou existirem, em textos desses manuais, frases que poderão contribuir para a persistência de certas concepções alternativas. Conceitos importantes como radiação, irradiação, dose, radioactividade... não são definidos em vários manuais. Este facto pode levar a que os alunos atribuam, a esses conceitos, significados pouco precisos e muitas vezes totalmente discordantes dos científicos.

III.C – Persistência das Concepções Alternativas

Conforme já foi referido, na secção II.B, verificou-se que algumas concepções alternativas persistiam após o ensino formal. No caso das radiações solares, a utilização de fichas e actividades em que se teve em conta concepções alternativas sobre as

radiações solares não foi suficiente para, em alguns casos, promover a mudança conceptual. Na leccionação deste assunto terá, portanto, de ser dada mais atenção a estas concepções e à elaboração dos materiais de apoio.

IV – Atitudes dos estudantes face à avaliação dos benefícios versus consequências nefastas que as radiações têm na saúde.

Já se referiu que o programa de *Física e Química A* e os manuais escolares não abordam vários aspectos necessários à ponderação do risco das radiações e que os alunos apresentam várias concepções alternativas sobre os seus efeitos e os métodos de protecção. Falta agora analisar como é que esta situação poderá afectar a ponderação de risco.

IV.A – Causas de ansiedade sobre radiações e as suas aplicações

Questão que guiou a pesquisa:

Quais são as maiores causas de ansiedade do público em geral sobre as radiações e as suas aplicações?

Existem vários tipos de estudos sobre riscos. A maior parte destes estudos determina os riscos que certos hábitos, desportos, viagens, ... acarretam para a vida pessoal. Outro tipo de estudos sobre riscos não diz respeito à natureza e à escala dos riscos segundo o ponto de vistas dos peritos, mas sim à forma como a maior parte da população, ou um grupo específico da população, percepção os riscos.

Neste trabalho, realizou-se um estudo deste segundo tipo em que se procurou investigar como é que os alunos avaliam a probabilidade de ocorrerem vários eventos adversos no seu futuro e o grau de gravidade das consequências desses eventos. Os resultados deste estudo são importantes porque fornecem as bases para se compreender e antecipar a resposta dos alunos relativamente às radiações, de modo a melhorar a comunicação sobre informação do risco entre professores e alunos.

Neste estudo, verificou-se que existe uma associação das radiações com as armas nucleares bastante significativa e que esta associação cria alguma ansiedade entre os alunos inquiridos.

Embora vivamos numa época em que os *media* relatam, frequentemente, incidentes com bombas convencionais e comentam a possibilidade de eventuais ataques com

armas químicas, os inquiridos consideram os ataques com bombas nucleares como sendo os mais prováveis.

Estes resultados levaram à formulação da questão, *Por que razão os ataques com Bombas Nucleares são considerados muito prováveis?*

Uma resposta para esta pergunta surgiu quando se analisaram as respostas dadas para a gravidade das consequências destes eventos. Os inquiridos temem as Bombas Nucleares devido às suas consequências; número elevado de mortes e emissão de radiações. Embora ambos factores sejam importantes, o factor determinante parece ser o risco de haver emissão de radiações visto alguns dos outros eventos terem causado mais mortes ao longo da história humana. Efectivamente, embora a maior parte das mortes imediatas resultantes de uma bomba nuclear seja causada pelo vento e as temperaturas elevadas, muitas pessoas consideram que a principal causa é a radiação. Os resultados obtidos com estas questões levaram à formulação de mais uma questão: *Poderá o receio das consequências condicionar a análise de uma situação, podendo mesmo afectar a avaliação da probabilidade de uma situação ocorrer?*

Se a resposta a esta questão for afirmativa, como parecem indicar os resultados obtidos, o desconhecimento dos efeitos das radiações e dos métodos de protecção irá dificultar a ponderação de risco, associado a uma situação que envolva a exposição a radiações, porque poderá aumentar a ansiedade que por sua vez dificultará a realização de uma análise objectiva.

Neste trabalho efectuou-se, ainda, um outro tipo de estudo que teve como objectivo avaliar e melhorar o processo de comunicação entre professores e alunos sobre o risco associado com a exposição às radiações solares. Embora nesse estudo se tenha verificado que, em algumas situações, os alunos conseguiam efectuar avaliações de risco correctas, em outras situações a comunicação parece não ter sido bem sucedida porque algumas concepções alternativas persistiram. A eficácia da comunicação parece depender não só dos materiais de apoio usados mas também da forma como estes são usados pelos professores. Se os professores não estiverem conscientes da percepção que os alunos têm sobre os riscos envolvidos terão dificuldade, durante o processo de comunicação, em desenvolver nos seus alunos as capacidades necessárias para determinar o risco envolvido.

V.B – Modos de pensar sobre radiações

Questão que guiou a pesquisa:

Como é que os estudantes percebem os riscos das radiações?

Foi possível encontrarem-se dois tipos de modos de pensar entre os estudantes. Por um lado, estes consideram as radiações perigosas devido aos efeitos graves que produzem. Este receio faz com que exista um grande interesse em conhecer os efeitos das radiações e os métodos de protecção. Por outro lado, consideram os riscos das radiações limitados e apresentam um excesso de confiança em certas medidas de segurança, o que os induz a cometerem erros de julgamento graves, como subestimar a capacidade de penetração de certas radiações.

Resumo:

Como já foi referido, o estudo apresentado nesta dissertação pretende averiguar a eficácia das opções que foram feitas nos actuais *curricula* e investigar novas formas de leccionar o tema *Radiações*, abordando especialmente as suas aplicações e as suas consequências na *Saúde*.

Embora o actual programa de *Física e Química A* foque alguns assuntos sobre radiações relacionados com a saúde não aborda, pelo menos com a profundidade desejada, os aspectos que mais preocupações causam nos alunos: efeitos das radiações, radioprotecção e aplicações médicas. Por sua vez, os manuais escolares, ao basearem-se neste programa, pecam pela mesma omissão. Os aspectos CTS do tema são usados principalmente como ilustração, não sendo estudadas as relações existentes.

Pode-se inferir que, após a leccionação deste programa e a utilização destes manuais,

- relativamente às aplicações médicas, embora os alunos conheçam algumas, a probabilidade de desconhecerem os processos envolvidos é muito grande;
- os alunos provavelmente conhecem alguns fenómenos elementares que ocorrem quando as radiações interagem com a matéria (ex: efeito fotoeléctrico, formação de radicais livres) mas que deverão desconhecer os efeitos biológicos daí resultantes;
- é pouco provável que os alunos conheçam as grandezas e as suas unidades relevantes para avaliar se a exposição a radiações, em determinadas situações, é perigosa, visto estas não serem objecto de estudo nos manuais e no programa;
- é de esperar que os professores abordem poucos aspectos de segurança, relacionados com as radiações, à excepção dos filtros solares;

- as concepções alternativas existentes antes do ensino formal deverão persistir porque são raros os manuais que revelam preocupação em promover a mudança conceptual. Provavelmente, os alunos que tiverem essas concepções alternativas também terão dificuldade em definir alguns conceitos porque os dois aspectos parecem estar interligados.

4.1.2. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS NESTE ESTUDO COM OS OBTIDOS NA PESQUISA EFECTUADA NA LITERATURA

I – Contextos e conteúdos

Segundo Membiela (1997), um dos factores que contribui para o sucesso de um *curriculum* é a selecção de contextos que abordem temas que sejam importantes nos dias actuais e na vida futura dos alunos. Ou seja, a motivação dos alunos para aprenderem um determinado assunto aumenta se este tiver utilidade na sua vida e portanto for do seu interesse dominá-lo.

Relativamente ao tema *Radiações e Saúde* verificou-se que, embora o estudo realizado por Eijkelhof (1990) e o descrito nesta dissertação tivessem sido realizados com gerações diferentes, em países diferentes e numa situação política mundial diferente, em ambos os estudos os alunos manifestavam interesse em estudar aspectos deste tema, nomeadamente os efeitos das radiações e a radioprotecção. O facto deste interesse se ter mantido ao longo das gerações, permite-nos afirmar que a inclusão de uma unidade com este tema nos actuais *curricula* não será uma questão de moda. A necessidade desta inclusão resulta da constatação da existência de um problema, que é a *falta de conhecimento científico sobre o assunto entre a população estudantil*. Este problema ainda apresenta a agravante de este desconhecimento poder provocar erros de avaliação que poderão colocar em risco a saúde da população.

Como o tema é bastante complexo, os objectivos definidos para essa unidade não deverão ser muito ambiciosos porque se verificou que pode haver alguma dificuldade em lidar com uma quantidade elevada de conceitos, de unidades e de termos médicos (Eijkelhof, 1990). Os objectivos propostos para essa unidade poderiam ser do tipo:

- os alunos devem ser capazes de apreciar sobre a eficácia e as limitações das medidas de segurança em relação às radiações;
- os alunos devem ser capazes de tomarem decisões em assuntos de relevância pessoal e social relacionados com os perigos das radiações.

Embora este tema possa ser estudado em vários contextos, a pesquisa efectuada mostrou que se devem definir critérios para a selecção dos contextos tendo em vista os objectivos pretendidas. No caso das radiações ionizantes os peritos propuseram os seguintes critérios:

- Familiaridade dos alunos com os contextos – deverá dar-se preferência a contextos com os quais os alunos não estejam muito familiarizados, para facilitar a mudança conceptual.
- Grau de conhecimento específico necessário – deverão ser evitados contextos que exijam o conhecimento de muitos conteúdos específicos.
- Deverá dar-se preferência a contextos que permitam fornecer uma visão geral das aplicações das radiações.

Embora estes critérios tenham sido propostos para as radiações ionizantes, parecem ser igualmente válidos para as radiações não-ionizantes.

No caso da radiação ionizante, os contextos que foram considerados mais adequados pelos peritos, para a avaliação das consequências das radiações, na saúde, foram: *Radiação de fundo; Aplicações médicas; Energia nuclear e Armazenamento de resíduos nucleares.*

Tendo em conta os aspectos que mais preocupações causam nos alunos inquiridos e os objectivos pretendidos, os contextos que parecem ser mais adequados para serem abordados nessa unidade são os dois primeiros. Os outros contextos poderiam ser utilizados se o objectivo pretendido fosse sensibilizar a população para o interesse de construir uma central eléctrica nuclear em Portugal.

No caso da radiação não-ionizante para além do estudo da *Radiação Solar*, já prevista no programa de *Física e Química A* (primeiro ano), talvez fosse interessante abordar as ondas de radiofrequência visto o contexto *Telecomunicações* estar previsto no programa de *Física e Química A* (segundo ano) e actualmente haver grande preocupação com os efeitos destas radiações na saúde. No entanto, só depois de se ter construído materiais de apoio e de se ter avaliado os resultados é que se poderá concluir se esta será uma situação adequada para atingir o objectivo pretendido.

Na secção 2.2 foi relatada a opinião dos peritos de radiação sobre os conteúdos que deveriam ser incluídos nos *curricula* para promover uma avaliação ponderada dos riscos das radiações ionizantes. A tabela 4.1 apresenta um resumo dessas recomendações.

Tabela 4.1- *Conteúdos recomendados pelos peritos em radiações para as radiações ionizantes*

A. Conhecimento básico sobre física atómica e nuclear
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Estrutura do núcleo</i> - <i>Fontes radiactivas</i> - <i>Radiação ionizante</i> - <i>Deteção de radiação</i> - <i>Energia nuclear</i>
B. Conhecimento básico sobre a protecção contra as radiações
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Irradiação</i> - <i>Contaminação</i> - <i>Efeitos da radiação ionizante</i> - <i>Aspectos de segurança</i>

As conclusões apresentadas na secção 4.1.1. vão ao encontro destas recomendações. O primeiro grupo de conteúdos, *Conhecimento básico sobre física atómica e nuclear*, embora não esteja directamente relacionado com a avaliação do risco, fornece as ferramentas necessárias para que os alunos sejam capazes de seleccionar e analisar informação sobre radiações. O segundo grupo de conteúdos, *Protecção da radiação*, está mais voltado para os efeitos da radiação ionizante e, portanto, mais de acordo com o objectivo pretendido: avaliação das vantagens/desvantagens da utilização das radiações, para a saúde.

A maior parte destes conteúdos está prevista no programa de *Física* (12º ano). Contudo, atendendo a que o número de alunos que frequentará esta disciplina será em princípio bastante limitado, é aconselhável que se faça uma avaliação das consequências das radiações para a saúde e se aborde as medidas de protecção mais cedo.

II – Concepções alternativas/ Problemas encontrados no ensino das Radiações

Existem muitas semelhanças entre os resultados obtidos na pesquisa realizada na literatura e os obtidos no estudo realizado com os alunos portugueses. Este facto parece mostrar que o actual programa não está a ser muito eficaz na mudança conceptual sobre radiações ionizantes. É possível que se venham a verificar problemas semelhantes em relação às radiações não-ionizantes, se não forem definidas estratégias adequadas.

A persistência dessas concepções alternativas parece dever-se a várias causas, desde formas de pensar comuns a vários indivíduos até ao desconhecimento de conceitos. Apresenta-se a seguir uma lista de algumas concepções alternativas e das possíveis causas da sua persistência. Nesta lista foi utilizado a seguinte notação para indicar o local onde foi detectada essa concepção alternativa: (1) – Literatura; (2) -Estudo actual (Questionário, *media*, manuais escolares)

A – A radiação não é reconhecida como uma entidade com propriedades específicas.

- Não é feita a distinção entre substância radiactiva e radiação. (1;2)
- A radiação pode acumular-se no corpo e nos alimentos. (1;2)

B – Há uma tendência para substancializar ou “coisificar” a radiação.

- Referem-se à radiação como “aquilo”. (1)
- Após ser removida a fonte radiactiva a radiação permanece algum tempo. (1;2)
- A radiação flutua no ar como uma nuvem. (1)
- Comparam a radiação ao som. (1;2)
- A radiação flui à volta de um obstáculo como a água à volta de uma árvore. (1)
- A radiação pode ser parada com uma contra-radiação (como dois jactos de água que colidem). (1)
- Os ecrãs de chumbo absorvem substâncias em vez de radiações. (2)

C – Há uma propensão para atribuir propriedades absolutas à radiação, em detrimento da análise dos factores e das interacções existentes entre os elementos do sistema.

- A irradiação de um alimento torna-o radiactivo. (1)
- Uma central nuclear de energia pode explodir como uma bomba nuclear. (1)
- A irradiação de uma pessoa faz com que ela fique contaminada radiactivamente. (1;2)
- Após um acidente numa central nuclear de energia o ambiente é semelhante ao de Hiroshima após a explosão da bomba. (1)
- Um acidente numa central nuclear é sempre um acidente nuclear. (1)

- Comparam a radiação ao calor. (1)
- As substâncias radiactivas podem fazer inflamar a roupa. (2)
- As radiações poderão provocar o aparecimento de substâncias perigosas nos alimentos. (2)
- As radiações podem ficar acumuladas nos alimentos. (1;2)
- Os raios X absorvidos podem provocar uma explosão. (2)
- A água diminui ou destrói as radiações. (2)

D – Os alunos transitam facilmente de um modo de pensar para outro sem disso se aperceberem – associam ou diferenciam com base nas aplicações das radiações. As ideias dos alunos sobre a natureza, propagação e perigo de um tipo de radiação dependem do contexto:

- Não é feita a distinção entre fontes radiactivas e fontes de raios X. (2)
- A radiação artificial é muito mais perigosa do que a radiação natural. (1)
- A substância radiactiva é sempre perigosa. (1;2)

E – Há uma tendência para usar esquemas de raciocínio lineares causais, com uma direcção privilegiada, para efectuarem previsões.

- As substâncias radiactivas são sempre mais perigosas do que as outras substâncias. (1)
- A radiação leva à impotência. (1)
- Todas as radiações electromagnéticas são perigosas. (2)
- As antenas de comunicações móveis provocam doenças. (2)

F – Ausência de noção de escala.

- Os limites de radiação são níveis de segurança: abaixo do valor indicado não há perigo, acima desse valor há perigo. (1)

G – Desconhecimento do processo ou do fenómeno envolvido.

- O lixo radiactivo resulta somente de lixo das centrais nucleares. (1)
- Após a meia-vida já não existe nenhum perigo. (1)
- A radiação é libertada somente através da fissão nuclear. (1)
- Não é feita distinção entre actividade e dose de radiação. (1)
- A radiação ionizante pode ser parada por vácuo. (1)
- O bronzado protege de uma queimadura suplementar. (2)
- Se removermos as substâncias radiactivas de um local fechado elas deixam de constituir um perigo. (2)
- A bata de algodão protege contra qualquer radiação existente num laboratório. (2)
- O movimento faz diminuir a exposição. (2)

- A quantidade de ar faz diminuir o perigo. (2)
- Um tecido de algodão é eficaz na protecção contra os raios X. (2)
- A contaminação radiactiva pode ser eliminada por aquecimento ou tratamento químico. (1)

H – Atribuição de características animais ou humanas às radiações.

- A radiação agarra-se aos objectos. (1;2)

III – Atitudes dos estudantes em relação aos efeitos que as radiações têm na saúde.

Segundo os peritos (Eijkelhof, 1990) as causas da ansiedade das pessoas relativamente à radiação ionizante são por ordem decrescente de importância:

- 1- A natureza dos possíveis efeitos;
- 2- Falta de conhecimentos;
- 3- Associação com armas nucleares;
- 4- A radiação ionizante não ser detectável com os sentidos;
- 5- A influência da cobertura feita pelos *media*;
- 6- Falta de confiança nos Governos e nos peritos;
- 7- A ocorrência de acidentes.

No presente estudo constatou-se que, efectivamente, os alunos estão preocupados com os efeitos das radiações; que desconhecem as medidas de protecção e que existe uma associação das radiações com os efeitos das armas nucleares muito representativa. Não foi possível constatar neste estudo a influência da cobertura feita pelos *media*.

4.2. RECOMENDAÇÕES E ESTRATÉGIAS PARA ENSINAR O TEMA RADIAÇÕES NA ÁREA DA SAÚDE

Os resultados apresentados na literatura e os obtidos no estudo actual mostram que não é fácil desenvolver nos alunos as capacidades necessárias para eles realizarem uma análise e uma avaliação cuidadosa sobre as vantagens *versus* desvantagens da utilização das radiações. A solução ideal, para se terem as condições curriculares adequadas, seria a elaboração de uma unidade em que a selecção dos conteúdos científicos e dos contextos fosse feita tendo em atenção este objectivo.

Essa unidade poderia ter a seguinte estrutura.

Contexto principal: Radiação natural *versus* radiação artificial

Conteúdos: Raios cósmicos; radioactividade (radionuclídeo, actividade, meia-vida)

Contexto secundário: Aplicações médicas (diagnóstico e terapêutica)

Conteúdos: - Efeitos biológicos das radiações (dose, dose equivalente)

- Princípios da regulamentação

- Protecção (penetrabilidade das radiações, regras de segurança)

No contexto da reforma curricular actual, esta unidade deveria ser leccionada no final da componente de Química do programa de *Física e Química A* (primeiro ano) porque nas unidades anteriores são leccionados os conhecimentos básicos para a compreensão dos conteúdos abordados nesta unidade. Se houvesse uma reorganização do actual programa, de modo a que os conteúdos abordados na *Unidade Zero* fossem recordados à medida que iam sendo necessários, seria possível disponibilizar tempo curricular para a leccionação desta unidade.

Enquanto o actual *curriculum* não for alterado, os professores deverão abordar o assunto sempre que for oportuno. No caso das radiações ionizantes e das radiações ópticas, estas matérias poderão ser abordadas no primeiro ano de *Física e Química A*, na unidade 1 da componente Química. Nesta unidade poderá fazer-se referência a todos os tipos de radiações, às suas aplicações, aos efeitos na saúde e às medidas de segurança. Atendendo ao pouco tempo disponível, esta referência poderá ser feita usando tabelas ou esquemas.

Os efeitos das radiações não-ionizantes poderão ser discutidos, mais aprofundadamente, no segundo ano de *Física e Química A* na unidade 2 da componente Física. No Anexo C são apresentados alguns conceitos e grandezas que os organismos oficiais sobre radiações não-ionizantes consideram fundamentais para analisar os efeitos das radiações. Como ainda não se fez nenhum estudo sobre a importância destes conceitos, para o ensino sobre as radiações, optou-se por não apresentar estas recomendações no corpo principal deste trabalho.

Embora a elaboração de uma unidade, tendo em vista o objectivo pretendido, seja fundamental, a pesquisa mostrou que existem outros aspectos que não devem ser descurados: persistência de concepções alternativas e consideráveis problemas com os significados atribuídos a alguns conceitos. Para que os objectivos pretendidos sejam

atingidos, os professores devem familiarizar-se com as concepções alternativas sobre radiações, de modo a que possam reconhecê-las e a tratá-las na altura apropriada, explicitando sempre que for adequado os significados científicos dos conceitos e a relação existente entre eles. Atendendo a que, muitas vezes, a principal fonte de informação que os professores têm sobre um novo tópico é o manual escolar deveria ser dada mais atenção à introdução de conceitos, às relações entre eles, ao uso de concepções alternativas para clarificar significados científicos e serem propostas actividades de sala de aula apropriadas, sobre a percepção de risco, e sobre as medidas de segurança.

A utilização de tabelas ou esquemas com os conceitos, unidades e efeitos é uma estratégia que poderá ajudar os alunos a terem uma visão global do assunto.

De modo a promover a reflexão sobre os conceitos Eijkelhof (1990) desenvolveu um esquema conceptual simplificado para facilitar a distinção de conceitos problemáticos e clarificar as relações existentes entre eles. Este esquema é apresentado na figura 4.1.

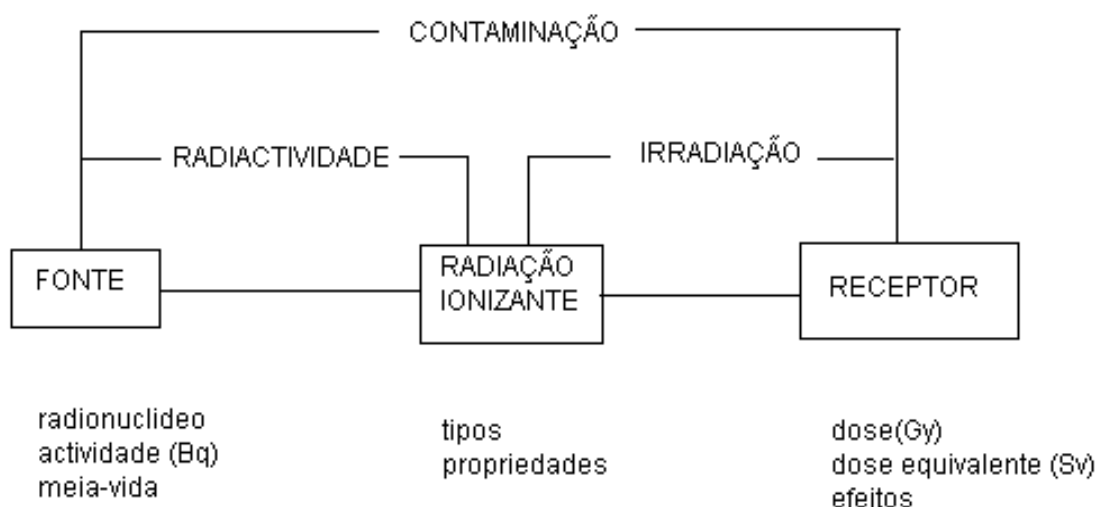


Figura 4.1-Relações entre conceitos científicos com respeito à radioactividade e à radiação ionizante em Eijkelhof (1990)

Eijkelhof recomenda que o esquema seja completado aos poucos. A construção do esquema poderá ser iniciada através do estudo de um fenómeno particular e, depois, à medida que as ideias dos alunos são relacionadas com o esquema, este poderá ser completado, clarificando como as concepções comuns são diferentes das científicas. Segundo este autor, o esquema ajudará os alunos a acomodarem a sua estrutura cognitiva, de modo a serem capazes de assimilar novos conceitos.

Como o objectivo do pretendido, para o ensino secundário português, é um pouco mais abrangente, este esquema poderá ser ligeiramente alterado para também abordar as radiações não ionizantes. Uma proposta de alteração é apresentada a seguir.

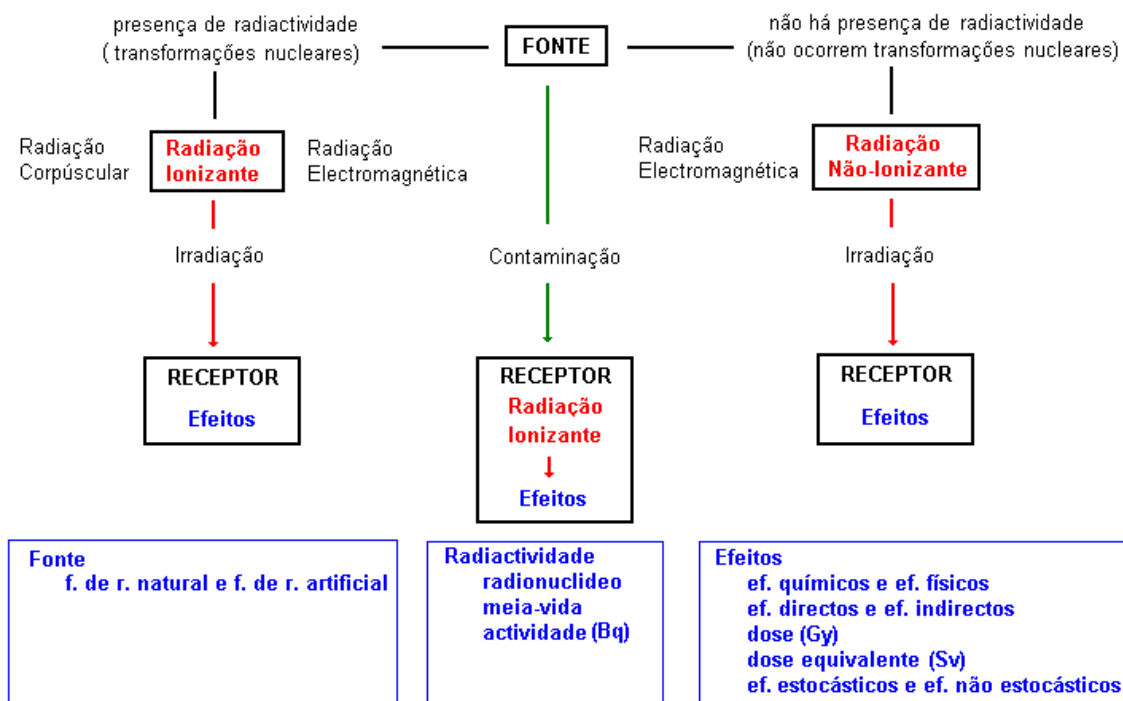


Figura 4.2 - Relações entre conceitos científicos com respeito à radioactividade e à radiação ionizante e não-ionizante.

Apresenta-se a seguir uma outra proposta de um esquema que tem como objectivo ajudar os alunos a compreenderem que a gravidade dos efeitos produzidos nos seres vivos depende de vários factores.

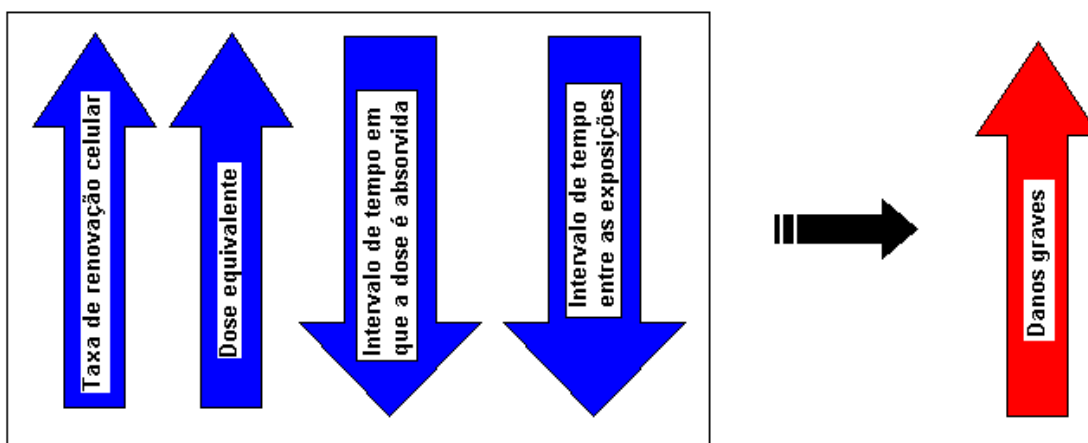


Figura 4.3 – *Factores que afectam a gravidade dos danos*

Este esquema poderá também ajudar a explicar os princípios em que se baseiam os tratamentos com radiações ionizantes.

Os materiais de apoio, que têm em conta as concepções alternativas, podem ser de diversos tipos e usarem diferentes estratégias. Podem, por exemplo, tirar proveito do facto de alguns alunos desenvolverem atitudes negativas em relação à ciência devido ao impacto que os acontecimentos têm nos *media*, onde por vezes são feitos sobressair os perigos de algumas tecnologias científicas.

A utilização de recortes de jornais ou de anúncios, para além de poder promover a mudança conceptual, proporciona um meio para que os alunos entendam que a realidade da qual fazem parte é bem mais ampla, contraditória e complexa do que a que é apresentada nas revistas, jornais, Internet e outros meios de informação.

Apresenta-se a seguir uma proposta em que se procurou utilizar este tipo de estratégia.



Tecnologia e Precisão

Lentes desde **45€** Unidade

As lentes Eye Protect da MultiOpticas

- Protegem das ondas electromagnéticas
- Evitam a fadiga ocular
- Permitem uma visão confortável
- São esteticamente atraentes

MULTIOPTICAS
Nº 1 EM SERVIÇOS ÓPTICOS

Neste anúncio aparece a seguinte frase “As lentes Eye Protect da MultiOpticas protegem das ondas electromagnéticas”.

Haverá alguma vantagem em utilizarmos uns óculos que nos protejam de todas as radiações electromagnéticas?

Outra estratégia que pode ser usada para promover a mudança conceptual é utilizar textos de apoio em que se abordem assuntos que dão origem a concepções alternativas. O objectivo deste tipo de materiais é promover o debate destes assuntos de modo a que os alunos possam explicitar as suas ideias e as suas dúvidas. Esta estratégia foi usada na elaboração e na utilização da ficha de apoio sobre radiações solares (Anexo G). Contudo, verificou-se que neste caso a mudança não foi muito eficaz. A eficácia desta ficha poderá, possivelmente, ser melhorada se no final se pedir aos alunos para comentarem certas frases, em que estejam expressas concepções alternativas. Deste confronto, entre as concepções alternativas e as concepções científicas, poderá resultar uma mudança conceptual mais eficaz.

No caso das concepções alternativas mais persistentes, poderão ser usadas analogias de modo a promover a mudança conceptual. Apresenta-se a seguir uma

analogia que poderá ser usada para a concepção alternativa “*Se colocarmos protector solar várias vezes ao dia podemos estar todo o dia na praia.*”

Podemos pensar nas células como sendo uma garrafa, na energia das radiações como sendo água e nos protectores solares como sendo torneiras.

Se a torneira estiver toda aberta, situação que representa a ausência de protector solar, a garrafa enche depressa. Se a torneira estiver meio aberta, a garrafa demora o dobro do tempo a encher mas enche na mesma. Em ambas as situações, não adianta reduzir o fluxo de água que sai da torneira depois da garrafa estar cheia porque qualquer gota irá fazer transbordar a garrafa.

Nas células acontece o mesmo, existe uma quantidade máxima de energia com que as células conseguem lidar; se essa quantidade for ultrapassada, mesmo que seja administrada em doses baixas a energia excedente irá causar danos nas células.

Também é possível usar analogias para explicar a interacção dos diferentes tipos de radiações com a matéria

Cavedon (1996) compara as interacções a “um imenso jogo de *bowling* a três dimensões, em que os obstáculos são quer peças muito duras e quase inamovíveis (os núcleos), quer pinos muito leves (os electrões ligados aos núcleos). “ No caso das partículas carregadas pesadas, a bola é muito pesada e é lançada sobre milhares de pinos. A bola vai em frente, afastando os pinos em todas as direcções, e abrandando pouco a pouco, até esgotar toda a sua energia sob o efeito de choques múltiplos. Se ela encontra uma peça (um núcleo), é brutalmente desviada pelo campo eléctrico e a situação assemelha-se a uma partida de flippers. Se as partículas forem electrões a situação assemelha-se a um jogo de *bowling* com bolas de ténis. A bola dispersará a sua energia num volume bastante vasto, sem que se possa ter esperança de descrever com precisão a sua trajectória. No caso dos neutrões, a bola de *bowling* não será perturbada se não bater nas peças e o espaço é essencialmente vazio. Os choques são raros e aplicam-se as regras do bilhar. Os choques retardam progressivamente o projectil e o efeito é tanto maior quanto o projectil e o alvo tiverem massas próximas.

Em outra analogia (Snyder, 1995) a matéria é vista como uma estrada com vários tipos de obstáculos. Os obstáculos são alguns caixotes de grandes dimensões (os núcleos) e vários objectos de pequenas dimensões (os electrões). Nesta analogia, os

efeitos causados pelas partículas α são comparados aos causados por um caminhão que choca com os obstáculos. Os efeitos causados pelas partículas β são comparados aos causados por um carro que choca com os obstáculos.

Outra estratégia que poderá ser utilizada, para promover a mudança conceptual, é a introdução de eventos discrepantes de modo a induzir um conflito cognitivo. Este tipo de abordagem poderá ser útil para analisar situações aparentemente contraditórias, como por exemplo a desenvolvida por Klaassen (Klaassen, Eijkelhof & Lijnse, 1989), para explicar a diferença entre radiação e substância radioactiva. Nesta experiência, o professor pode mostrar que a radiação não é detectável a uma certa distância da fonte. Este resultado é, a seguir, comparado com o que aconteceu após o acidente de Chernobil, onde a radiação foi detectada a grandes distâncias do reactor, permitindo lançar a discussão sobre o alcance e a intensidade da radiação e seus efeitos.

4.3. RECOMENDAÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Até agora foram apresentadas recomendações que dizem respeito à alteração do programa actual, à elaboração de materiais de apoio ao ensino e às estratégias a usar para promover uma mudança conceptual. Contudo, o cumprimento destas recomendações não originará, automaticamente, um ensino eficaz, pois fica a faltar um factor fundamental que é o corpo docente. Estarão os professores preparados para estes novos desafios?

Embora o conhecimento científico dos alunos seja construído através da informação escrita, cabe ao professor estruturar e adaptar o *curriculum* aos seus alunos e colocá-los perante situações educativas variadas e complexas. É o professor que sistematiza o conhecimento, de acordo com o nível etário dos seus alunos e o contexto escolar. Tal como Aikenhead (2002) argumenta, a compreensão do professor é a maior componente no desenvolvimento com sucesso de um *curriculum* CTS. Assim, todas as esperanças expressas nesta dissertação dependem da implementação das recomendações feitas por um corpo de professores de ciências que possua conhecimento e capacidades altamente especializadas.

Como os professores que irão leccionar o programa de *Física e Química A* tiveram formações muito diversas é de esperar que tenham capacidades diferentes e graus de conhecimento sobre o assunto também diferentes. Contudo, serão essas capacidades, e

esse grau de conhecimento, as mais adequadas para o objectivo proposto? Torna-se, agora, pertinente colocar algumas questões relativamente ao corpo docente:

- Quais são os papéis que os professores terão de desempenhar para serem atingidos os objectivos propostos?
- Que tipo de conhecimento é necessário para poderem desempenhar estes papéis?
- Que atitudes são importantes?

Osborne e Freyberg (1985) propuseram como papéis principais dos professores os seguintes: motivar, diagnosticar, guiar, inovar, experimentar e pesquisar.

Utilizando como referência estes papéis, apresentam-se a seguir algumas das funções que se considera que o professor terá de desempenhar para desenvolver, de forma eficaz, as capacidades necessárias à ponderação do risco associado às radiações, de modo fazer face às dificuldades detectadas com base nos resultados obtidos e analisados no presente estudo.

Motivar

- preparar a aprendizagem do tema de forma a que os alunos o considerem relevante e estimulante.

Diagnosticar

- detectar numa fase inicial quaisquer concepções incorrectas dos alunos sobre o assunto.

Guiar

- adoptar estratégias que permitam os alunos explorar as suas ideias e formarem opiniões independentes porque alfabetizar não é apenas repetir palavras, mas dizer a sua palavra (Freire, 1987);
- promover uma análise justa de todos os aspectos relevantes para o estudo do tema;
- assegurar-se que os materiais usados no ensino oferecem uma visão equilibrada dos assuntos controversos;
- estar continuamente em alerta de modo a evitar transmitir mensagens inadvertidas sobre as suas opiniões pessoais num dado assunto.

Inovar

- adaptar as actividades propostas à mudança conceptual pretendida para os alunos.

Experimental

- realizar as actividades experimentais adequadas para a mudança conceptual pretendida.

Pesquisar

- estar informado sobre as novas tendências sobre o ensino das ciências;
- estar informado sobre as descobertas científicas e os avanços tecnológicos.

Para os professores desempenharem estas funções têm de:

- estar bem informados e confiantes sobre todos os aspectos relevantes relativos aos temas abordados;
- ter experiência e confiança para usarem as estratégias mais adequadas;
- ter o apoio de recursos adequados que incluam matérias educativas equipamento e áreas de trabalho.

Isto leva-nos à segunda questão: “Que tipo de conhecimento é necessário?”.

A informação científica básica sobre *Radiações e Saúde*, necessária à ponderação de risco, é apresentada nos anexos de A a F. Procurou-se nestes anexos sistematizar a informação que deveria ser disponibilizada a todos os professores para que adquirissem o conhecimento básico para poderem detectar concepções incorrectas e adoptar as estratégias mais adequadas. Contudo, para que o professor consiga desempenhar a maior parte das funções que lhe são solicitadas é necessário um conhecimento mais vasto que permita um ensino CTS.

Actualmente, ensinar ciência requer que os professores se mantenham informados sobre temas diversos de modo a ajudarem os alunos a darem sentido ao enorme conjunto de estímulos que os rodeiam. Mas isto requer uma formação de professores cuidada, pertinente e coerente. Os professores precisam de meios para se manterem a par dos assuntos, o que actualmente é uma tarefa difícil, tendo em conta o ritmo a que ocorrem as descobertas científicas e os avanços científicos e tecnológicos.

Os manuais de ciência, utilizados pela maioria dos professores, tendem a ser limitados na cobertura destes tópicos e, dados os recentes desenvolvimentos nestas áreas, a informação nestes livros rapidamente se torna desactualizada. Assim, os professores precisam de ter acesso a fontes recentes de informação, para poderem planificar as suas lições e interessar os alunos nos assuntos abordados.

Esta informação pode chegar aos professores de diferentes modos:

- 1- Publicação e distribuição de informação básica (folhetos, vídeos, filmes).
- 2- Materiais periódicos e esporádicos que tratam sobre acontecimentos actuais, tendência, etc.
- 3- Formação complementar mais abrangente e equilibrada para os professores se manterem actualizados relativamente ao conhecimento científico e à educação em ciência, desenvolverem as suas capacidades e por acréscimo a aumentarem a sua confiança.

Convém, aqui, salientar que estas actividades de divulgação e formação devem ser normais e não excepcionais.

Muitos professores têm o conhecimento científico básico mas não possuem o nível de conhecimento e de confiança necessários para leccionar o tema *Radiações*, bem como outros temas, da forma pretendida. Alguns países já se aperceberam deste facto e começaram a organizar actividades para promover a formação dos professores sobre temas polémicos (OECD, 1994). Um desses temas é precisamente a energia nuclear e os efeitos da radiação ionizante.

- Na França, todos os anos, o INSTN (*Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires*) organiza um estágio de informação sobre a energia nuclear destinada a professores.

- Na Suíça, a INFEL (*Information Centre for Electrical Power Utilization*) disponibiliza informação para as escolas, como por exemplo a revista informativa para professores "POWER").

- Na Alemanha, a IK (*Informationskreis Kernenergie*) desenvolveu materiais específicos para informar os professores sobre a energia (publicações periódicas, transparências, livros documentais, etc.).

- No Japão, a *Science and Technology Agency* mandatou o *Japan Atomic Energy Research Institute* para organizar "Experiments on Radiation" para professores, que consistem em estágios de 3-5 dias na JAERI (*Radioisotope and Nuclear Engineering School of Japan Atomic Energy Research Institute*). Por outro lado, a JAERO (*Japan Atomic Energy Relations Organization*) realiza seminários de estudo para professores, na área da energia nuclear e experiências sobre radioactividade.

- Na Espanha, a FAE (*Fórum Atómico Español*) elabora documentos e textos, ao mesmo tempo que organiza seminários periódicos para professores.

- Na Suécia, a OKG Aktiebolag (A central nuclear de Oskarshamn) organiza, para além de visitas, seminários e cursos para professores. A SKB (*Svensk Kärnbränslehantering AB - Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co*) desenvolveu um *curriculum* designado “*At Depth*”, destinado a alunos de escolas superiores, com factos e artigos de debates sobre a gestão de resíduos radioactivos.

Chegamos à conclusão que o ensino pretendido exige que se dê mais atenção à formação e que a informação esteja facilmente acessível. Mas, este tipo de ensino não requer só uma mudança conceptual do conhecimento dos professores requer, também, uma mudança das atitudes dos professores. É fulcral que os professores, como elementos essenciais no processo de ensino, estejam receptivos à própria mudança (Lopes, 1994). Se não estiverem suficientemente insatisfeitos com a sua actual forma de ensinar e se a nova forma de ensinar não lhes parecer plausível e frutífera, provavelmente, não alterarão a sua forma de ensinar. Para se sentirem confortáveis e competentes no sentido de criarem ambientes de aprendizagem para os seus alunos, terão de estar conscientes dos objectivos que pretendem atingir, dos problemas que poderão encontrar, e das limitações inerentes a este modo de ensino.

É preciso tempo para que os professores reorganizem as suas ideias sobre o ensino da ciência e ganhem confiança. Essa confiança poderá ser adquirida através da realização de actividades que envolvam activamente os professores: a analisar as definições científicas dos termos, a planificar actividades de ensino adequadas, a reflectir sobre as novas correntes de ensino e a discutir todos estes tópicos com os colegas de profissão.

As acções de formação que actualmente estão a decorrer sobre os novos programas são importantes mas devem ser encaradas como um começo porque não vão ao encontro de todas as necessidades sentidas pelos professores. Quaisquer que sejam as tendências da educação adoptadas os professores de ciências precisam de ser encorajados para aprofundar o seu conhecimento científico, as suas capacidades pedagógicas e o seu desenvolvimento pessoal.

4.4. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS POSTERIORES

Neste capítulo, apresentaram-se recomendações sobre conteúdos do *currículum*, estratégias de ensino e formação de professores. A seguir apresentam-se algumas limitações deste estudo e propõem-se recomendações para pesquisas posteriores.

4.4.1. LIMITAÇÕES DO ESTUDO REALIZADO

A necessidade de controlar a credibilidade dos documentos e das informações neles contidas, tendo em vista a adequação aos objectivos do estudo realizado, levou a que fossem apresentadas poucas concepções alternativas sobre radiações não-ionizantes, porque a informação disponível ainda não foi, na sua maior parte, objecto de estudo.

O facto de se ter optado por recolher dados pré-existentz fez com que fosse necessário resumir os resultados e as conclusões de estudos anteriores, o que é sempre delicado porque, ao mesmo tempo que se pretende adequar os resultados ao estudo actual, temos de nos manter fiéis ao autor. Devido a problemas logísticos e de língua, nem sempre foi possível ter acesso directo aos documentos.

Como só foi possível realizar um estudo piloto, temos o problema da representatividade dos resultados obtidos no universo dos alunos portugueses. Por outro lado, o questionário, como qualquer outro instrumento de recolha de dados, possui as suas limitações, que vão desde a subjectividade da amostra escolhida a qual, devido à sua dimensão, tem uma representatividade pequena do Universo, à superficialidade das respostas que não permite uma análise profunda das ideias dos inquiridos e à individualização dos inquiridos que, neste tipo de instrumento, são considerados independentemente das suas redes de relações sociais.

Nos questionários elaborados para o presente estudo, procurou-se contornar algumas destas limitações como a superficialidade das respostas, dando a hipótese ao inquirido, sempre que se julgou necessário, de acrescentar outras respostas diferentes das apresentadas e pedindo a justificação de algumas escolhas efectuadas. Para se poder estudar a influência do ensino formal no modo de pensar, os questionários dos inquiridos, que pertenciam à mesma turma, foram analisados em conjunto.

Como o estudo foi realizado no primeiro ano de leccionação do programa *Física e Química A* (primeiro ano), só foi possível avaliar a persistência dos *mitos das radiações*

porque ainda não se encontravam disponíveis materiais sobre outras concepções alternativas.

Não foi possível aprofundar, os aspectos estudados, de igual modo para todos os tipos de radiações porque alguns praticamente não são abordados no programa de *Física e Química A* (primeiro ano).

4.4.2. PESQUISAS POSTERIORES

Primeiro, propõe-se que se continue a trabalhar no campo do ensino da radiação, na perspectiva da ponderação de risco, nos modos que se seguem:

- 1- Elaborar materiais de ensino em que sejam incorporadas as recomendações propostas.
- 2- Investigar a eficácia desses materiais e das actividades de formação de professores, especialmente dos que incidiram no processo de ensinar e aprender conceitos relacionados com a protecção das radiações.

Nestas investigações, deve ser dada atenção aos processos de aprendizagem e à avaliação do progresso dos alunos que foram ensinados de modos diferentes. A pesquisa deve incluir pré-testes e pós-testes, em que haja comparação dos resultados obtidos nestes testes ou com grupos de controlo.

Segundo, de modo a melhorar a qualidade do ensino CTS, é essencial que se continuem a analisar os problemas da selecção de contextos e conteúdos.

Terceiro, deverá ser dada mais atenção às fontes das concepções alternativas. Embora algumas possam resultar da visão que as crianças têm do mundo, outras podem resultar da nossa própria cultura, da forma como a sociedade vê o mundo, a ciência e a tecnologia. Talvez fosse útil trazer para a sala de aula a cultura da nossa sociedade.

Quarto, embora a pesquisa sobre todas as concepções alternativas seja importante, recomendamos que se recolham e analisem, prioritariamente, casos em que a existência dessas concepções afecte directamente a vidas das pessoas.

BIBLIOGRAFIA

- Aikenhead, G.S. (1994). What is STS science teaching? In: J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.
- Aikenhead, G.S. (2002). Renegotiating the culture of school science: scientific literacy for an informed public. Retrieved from:
<http://www.usuask.ca/education/people/aikenhead/prosci.htm>
- Álvarez, A.C., Galbarte, J.C. & Gordillo, M.M. (2004). As simulações CTS: Os casos simulados como materiais para experiências participativas. In: Universidade de Aveiro. D.D.T.E. *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na inovação da educação em ciência*. III Seminário Ibérico CTS no Ensino das Ciências (271-275). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Anderson, C. & Smith, E. (1986). Children's conceptions of light and colour. Relatório N.º166. Michigan State University.
- Andersson, B. & Karrquist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, 5, 4, 387-402.
- Antena retransmissora contestada em Lordemão. (2004, 24 de Janeiro). *Diário de Coimbra*.
- Association for Science Education (ASE) (1990). *Satis 16-19. General Guide*, unit 24, Hatfield, Hertz: ASE (Association for Science Education).
- Barnes, D. (1976). *From communication to curriculum*. Hammondsworth, U.K.: Penguin Books.
- Bello, A. & Caldeira, H. (2003). *Ontem e hoje, Física e Química A. Física 10º Ano*. Porto: Porto Editora.
- Bondi, H. (1985). Society's view of science. In Harrison, G.B. (Ed.), *World Trends in Science and Technology Education* (10-13). Nottingham: Trent Polytechnic.
- Cachapuz, A. (1995). O Ensino das ciências para a excelência da aprendizagem. In: Carvalho, A.D. (Ed.). *Novas Metodologias em Educação*. Porto: Porto Editora.
- Cachapuz, A., Malaquias, I.M., Martins, I.P., Pedrosa, M.A., Loureiro, M.J., Thomaz, M.F. *et al.* (1991). Concepções alternativas em Física de professores estagiários. Comunicação oral apresentada na XXIII Reunião Bienal da Real Sociedade Espanhola de Física, Valladolid, Espanha.

- Champagne, A.B., Gunstone, R.F. & Klopfer, L.E. (1983). Naive knowledge and science learning. *Research in Science and Technology Education*, 1, 2, 173-183.
- Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, V. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5).
- Cordão humano alerta para insegurança. (2004, 1 de Agosto). *Diário de Coimbra*.
- Corrêa C., Nunes, A. & Almeida, N. (2003), *Química, Física e Química A. Química 10ºano*. Porto: Porto Editora.
- Costa, A.M., Moisés, A. & Caeiro, F. (2003), *Ver +, Física A 10º Ano*. Lisboa: Plátano Editora.
- Covello, V.T. (1984). Actual and perceived risk: a review of the literature. In: P.F. Ricci, L.A. Sagan & C.G. Whipple (Eds.), *Technological Risk Assessment*. The Hague: Martinus Nijhoff.
- Da Silva, H.C. & Almeida, M.J. (1998). Condições de produção da leitura em aulas de física no ensino médio: um estudo de caso. Da Silva & M.J. Almeida (Ed.), *Linguagens, leituras e ensino de ciências*. Campinas: Associação de leitura do Brasil.
- Daniel, V. (2003), *A Química no nosso Mundo, Física e Química A, 10º Ano*. Carnaxide: Constância.
- Dias da Silva M. H., Dos Santos, M. P. M. & Da Silva, J. D. (2003), *Velhos Rumos Caminhos Outros, Química-A, 10º Ano*. Lisboa: Plátano editora.
- Driver, R. (1987). Promoting conceptual change in classroom settings: The experience of Children's Learning in Science Project. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, N.Y.: Cornell University.
- Durant, J.R., Evans, G.A. & Thomas, G.P. (1989). The public understanding of science. *Nature*, 340, 11-14.
- Eaton, J., Anderson, C. & Smith, E. (1982). *Student preconceptions Interfere with learning: Case studies of fifth grade students*. Michigan: Institute for research on teaching, Michigan State University.
- Eijkelhof, H.M. & Lijnse, P.L. (1988). The role of research and development to improve STS education: Experiences from the PLON-project. *International Journal of Science Education*, 10, 4, 464-474.
- Eijkelhof, H.M. & Millard, R. (1988). Reading about Chernobyl: The public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70, 251, 35-41.
- Eijkelhof, H.M. (1986). Dealing with acceptable risk in science education: The case of ionizing radiation. In: M.J. Frazer & a. Kornhauser (Eds.), *Ethics and Social Responsibility in Science Education*(189-199). Oxford. Pergamon Press.

- Eijkelhof, H.M. (1990). Radiation and risk in physics education. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht, CDβ Press, Centrum voor β-Didactiek.
- Esgalhado, A. & Rebordão, J. (1987). A propos de modèles “spontanés” de phénomènes liés à la lumière. In : A. Giordan & J. Martinand (Eds.). Actes des IXèmes Journées Internationales sur l’Education Scientifique, 303-308. Chamonix.
- Faculdade de ciências estuda concentrações de radão. (2004, 21 de Abril). *Diário de Coimbra*.
- Featherstonhaugh, T. & Treagust, D. (1990). Students’ understanding of light and its properties following a teaching strategie to engender conceptual change. *Comunicação apresentada no encontro anual da AERA*.
- Fischhoff, B., Watson, S. & Hope, C. (1984). Defining risk. *Policy Sciences*, 17, 123-139.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do Oprimido* (17ª ed.). Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Gilbert, J. & Zylbersztajn, A. (1985). A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. *European Journal of Science Education*, 7 (2).
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J. & Fensham, P.J. (1982). Children’s science and its consequences for teaching. *Science Education*. 66, 4, 623-633.
- Goldberg, F. & McDermott, L. (1983). Not all the many answers students give represent misconceptions: Examples from interviews on geometrical optics. In: H. Helm & J. Novak (Eds.). *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, N.Y.: Dept. of Education, Cornell University.
- Grupo ARGO (2003) . *La controversia de las antenas de telefonía móvil. Similación educativa de un caso CTS sobre radiaciones Y vida cotidiana*. Madrid:OEI.
- Guerra, C. A., Barbosa, M. C. & Praça, T. L. (1998/99). A radioatividade no Ensino. *Trabalho realizado no âmbito do Seminário do 5º ano do curso de Ensino de Física e Química da Universidade de Aveiro*.
- Guesne, E. (1978). Lumière et vision des objects. In : G. Delacote (Ed.). *Physics Teaching in Schools*. London: Taylor and Francis.
- Hurd, P. D. (1987). Ciência –Tecnologia-Sociedade: Um novo contexto para o ensino da ciência no secundário. CTS MAI/AGO.
- Israelitas começaram a tomar comprimidos de iodo. (2004, 9 de Agosto). *Diário de Coimbra*.
- Kaczmarek, R., Bednarek, D.R., e Wong, R. (1987). Misconceptions of medical students about radiological physics. *Health Physics*, 52, 1, 106-107.
- Kasper, R.G. (1979).”Real” versus perceived risk: implications for policy. In: G. Goodman & W. Rowe (Eds.), *Energy Risk Management*(87-95). London: Academic Press.

- Klaassen, K., Eijkelhof, H. & Ljinse, P. (1989). *Considering an alternative approach to teaching radioactivity*, paper presented at the seminar, 'Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Science Education', University of Utrecht.
- Leite, L. & Sá, J. (1997). Cor, óptica e pintura: Um estudo sobre concepções alternativas. *Gazeta da Física*, 20 (2/3), 17-22.
- Lewis, J.L. (1985). The teaching of science in relation to society. In: W. J. Whelan (Ed.), *Science Education and Social Needs* (5-13). Paris: ICSU Press.
- Lixeira nuclear no subsolo francês (2004, Agosto). *Super Interessante*, 76, p.18
- Ljinse, P.L., Eijkelhof, H.M., Klaassen, C.W. & Scholte, R.L. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*.
- Lopes, J. (1994). Mapas Supervisão do trabalho experimental no 3º ciclo do ensino Básico: Um modelo inovador. Aveiro.
- Lucas, A.M. (1987). Public knowledge of radiation. *Biologist*, 34, 3, 125-129.
- Lucas, A.M. (1988). Public knowledge of elementary physics. *Physics Education*, 23, 10-16.
- Maciel N., Gradim, M.M. & Campante, M.J. (2003). *Eu e a Física, Física e Química A. Física 10º ano*. Porto: Porto Editora.
- Maciel N., Gradim, M.M. & Campante, M.J. (2003)., *Eu e a Química, Física e Química A. Química 10º ano*. Porto: Porto Editora.
- Marques da Silva, D. (2003), *Desafios da Física, Física e Química A/10ºAno*. Lisboa: Lisboa Editora.
- Marques de Sá, M. T. (2003), *Física, Física e Química –A, 10º ano*. Lisboa: Texto Editora.
- Martins, I. & Veiga, L., (1999). *Uma análise do Currículo da Escolaridade Básica na Perspectiva da Educação em Ciências*. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional. Ministério da Educação.
- Más, C.J. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *ALAMBIQUE. Didáctica de las Ciencias experimentales*, 7.
- Matthews, M.R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12
- Melo, L. (2003), *A Física do Nosso Mundo, Física e Química A. 10º Ano*. Carnaxide: Constância Editores.
- Membela, P. (1997). Una revision del movimiento educativo ciencia-tecnologia-sociedade. *Enseñanza de las ciencias*, 15(1), 51-57.

- Mendonça, L. et al. (2003), *Jogo de Partículas*, 10º ano. Lisboa: Texto Editora.
- Menezes, D. & Curto, M. (2003), *Química, Física e Química-A*, 10º ano. Lisboa: Lisboa Editora.
- Mitchell, J. & Gunstone, R. (1984). Some students conceptions brought to the study of stoichiometry. *Res. Sci. Educ.*, 14
- Morais, A. M., Lopes, C. & Gil, V. (2003). *O Universo dos átomos*, *Química* 10º ano. Lisboa: Didáctica Editora.
- Neuschatz, M. (1989). Reaching the critical mass in high school physics. *Physics Today*, 42, 8, 30-36.
- Nisbett, R. e Ross, L. (1980). *Human Inference: Strategies and Shortcomings of Social Judgment*. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice Hall.
- NSTA (1982). *Science-technology-society. Science education for the 1980's, position statement*. Washington (D.C.): National Science Teachers Association.
- Nussbaum, J. & Novick, S. (1981). Brain storming in the classroom to invent a model: a case study. *School Science Review*, 62,221
- Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11.
- OECD/NEA (1994). Teachers and Nuclear Energy (OECD Nuclear Energy Agency, Paris). *Oxford Seminar*.United Kingdom.
- Osborne, R. & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science. The implications of Children's Science*. Auckland: Heinemann.
- Osborne, R.J. & Wittrock, M.C. (1983). Learning in Science: A generative process. *Science Education*, 67, 4, 489-508.
- OTA (1988). *Educating Scientists and Engineers: Grade School to Grad School*. Washington (D.C.): congress of the United States, Office of Technology Assessment.
- Paiva, J., Ferreira, A. J., Ventura, G., Fiolhais, M. & Fiolhais, C. (2003), *10Q, Ciências Físico-Químicas*, *Química*, 10º ano. Lisboa: Texto Editora.
- Pligt, J. van der, Eiser, J.R. & SPEARS, R. (1986). Attitudes towards nuclear energy, familiarity and salience. *Environment and Behaviour*, 18, 1, 75-93.
- Programa de Física e Química A -10º Ano, 2001.
- Programa e Organização Curricular do 3ºCiclo do Ensino Básico
- Rodrigues, M. & Dias, F. (2003), *Física na Nossa Vida*. Porto: Porto Editora.
- Rowell, J. & Dawson, C. (1983). Laboratory counter examples and the growth of understanding in science. *Eur. J. Sci. Educ.*, 5(2)

- Santos, M. E. (2004). Dos códigos de Cidadania aos códigos do Movimento CTS. Fundamentos, Desafios e Contextos. In: Universidade de Aveiro. D.D.T.E. (Ed.). *Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*. III Seminário Ibérico CTS no Ensino das Ciências (13-22). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Science Council of Canada (1984). *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World*. Ottawa: Supply and Services Canada.
- Sequeira, M.J. (1997) Metodologia do ensino das ciências no contexto ciência-tecnologia-sociedade. In: L. Leite *et al.* (org.). *Didáctica/Metodologias da Educação*. Braga: Universidade do Minho.
- Shipstone, D. (1985). Electricity in simple circuits. In: Driver, R. et al (Eds.), *Children's ideas in science*, Milton Keynes: Open University Press.
- Showers, D. (1986). *A Study of the Effects of Informational and Persuasive Messages on the Attitudes of High School Students Toward the Uses of Nuclear Energy for Electrical Production*, PhD- thesis, Pennsylvania State University.
- Simões, T., Queirós, M.A. & Simões, M.O. (2003), *Química em Contexto, Física e química A, Química, 10º ano*. Porto: Porto Editora.
- Sjoeberg, S. & Imsen, G. (1988). Gender and science education. In: P.J. Fensham (Ed.). *Development and Dilemmas in Science Education* (218-248). London: Falmer Press.
- Slovic, P., Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. (1979). Images of disaster: Perception and acceptance of risks from nuclear power. In: G. Goodman & W. Rome (Eds.), *Energy Risk Management* (223-245) London: Academic Press.
- Slovic, P., Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. (1980). Facts and fears: Understanding perceived risk. in: R.C. Schwing & W. A. Albers Jr. (Eds.), *Societal Risk Assessment, How Safe is Safe Enough*. New York: Plenum Press.
- Slovic, P., Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. (1981). Informing the public about the risks from ionizing radiation. *Health Physics*, 41, 4, 589-598.
- Solbes, J. & Vilches, A. (1997). CTS Interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *International Journal of Science Education*, 377-386
- Snyder, C. H. (1995). *The extraordinary chemistry of the ordinary things*, second edition. New York, Chichester: John Wiley & Sons, Inc.
- Solbes, J. & Vilches, A. (1995). El profesorado y las actividades CTS. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, 30-38.

- Souza Barros, S. (1989). The Goiania radioactive accident: Accident or incident?. Artigo apresentado na GIREP- conference Energy Alternatives/Risk Education, Balaton (Hungria).
- Stead, B. & Osborne, R. (1980). Exploring science students' concepts of light. *Australian Science Teachers Journal*, 26, 3, 84-90.
- Strike, K.A. & Posner, G.J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In: L.H.T. West & A.L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change* (211-231) Orlando (Flor.): Academic Press.
- Vasconcelos, N. & Loureiro, J. (1988). Conceitos alternativos em Física: Sua implicação na formação de professores. *Actas do 1º Encontro Nacional de Didáticas e Metodologias de Ensino*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Ventura, G., Fiolhais, M., Fiolhais, C., Paiva, J., Ferreira, A. (2003), 10F, *Física e química A, Física., 10º ano* Lisboa: Texto Editora
- Weart, S.R. (1988). *Nuclear Fear. A History of Images*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- Yager, R. (1996). The meaning of STS for Science Teachers. In: R. Yager (Ed.), *STS as reform in science education*. Albany, NY: Suny.

ÍNDICE DOS ANEXOS

A - TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES	3
A.1 – Partículas	4
A.2 – Produção de ondas electromagnéticas.....	7
A.3 – Bandas de radiações electromagnéticas	8
A.4 – LASER	12
B - EFEITOS DAS RADIAÇÕES	13
B.1 – Fenómenos elementares	13
B.2 – Fenómenos radioquímicos.....	16
B.3 – Efeitos biológicos	16
B.4 – Efeitos produzidos pela radiação LASER	26
C - RADIOPROTECÇÃO	28
C.1 – Os princípios da regulamentação	29
C.2 – Grandezas e unidades.....	30
C.2.1 – Grandezas e unidades relativas às reacções nucleares e às radiações ionizantes	30
C.2.2 – Grandezas e unidades relativas a campos electromagnéticos até 300 GHz	38
C.2.3 – Grandezas e unidades relativas a radiações ópticas	40
C.3 – Limites	42
C.4 – Legislação.....	46
C.4.1 – Legislação portuguesa	46
C.4.2 – Legislação comunitária.....	52
C.5 – SEGURANÇA	55
C.5.1 – Sinalização	55
C.5.2 – Detectores	56
C.5.3 – Meios de protecção	57
C.5.4 – Descontaminação.....	71
C.5.5 – Resíduos radioactivos	72
D - RADIAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL	73
D.1 – Radiação natural.....	73
D.2 – Radiação artificial	75
D.2.1 – Aplicação das radiações na Medicina	76
D.2.2 – Outras aplicações	83
E - RISCO	85
F - QUESTIONÁRIO	91

G - FICHAS	97
H - BIBLIOGRAFIA.....	107

ANEXO – A

TIPOS E CARACTERÍSTICAS DAS RADIAÇÕES

A radiação é uma forma de propagação de energia que não necessita de meio material, sendo dividida geralmente em dois grupos: radiação corpuscular e radiação electromagnética.

Radiação corpuscular

É constituída por feixes de partículas elementares, ou núcleos atómicos, tais como: electrões e positrões (partículas beta), prótons, neutrões, mesões π , deuterões, núcleos de átomos de hélio (partículas alfa), etc..

A energia cinética, E_c , de uma partícula de massa m com velocidade v , quando $v \ll c$, é dada por

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2,$$

sendo c a velocidade da luz no vácuo e sendo o seu valor $3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Radiação electromagnética

As ondas electromagnéticas são constituídas por campos eléctricos e magnéticos oscilantes que se propagam com velocidade constante, c , no vácuo.

Contudo, de acordo com a teoria dos quanta, a radiação electromagnética é emitida, e propaga-se descontinuamente, em pequenas quantidades de energia chamadas quanta ou fótons.

$$E = n h f,$$

sendo $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ (constante de Planck).

As ondas electromagnéticas apresentam, portanto, também natureza corpuscular. Por outro lado, a própria matéria também possui características ondulatórias e corpusculares. Esta proposição é escrita matematicamente na forma

$$m v = h/\lambda$$

sendo λ o comprimento de onda e m e v , respectivamente, a massa e a velocidade do corpúsculo.

Assim, podemos dizer que uma onda electromagnética possui, além de energia, quantidade de movimento e momento angular.

A.1 – PARTÍCULAS

O conceito de partícula pode ser compreendido intuitivamente por qualquer pessoa. Assim, para um leigo, uma partícula é uma pequena porção de matéria, tendo o termo “pequena” significados diferentes conforme a vizinhança em que a partícula se encontra (Alonso & Finn, 1981). Mas, segundo a teoria quântica dos campos, que estuda as partículas e as suas interações, as partículas não são mais do que os diferentes estados de excitação de um campo, o qual por si mesmo não é uma «verdadeira» coisa, mas antes aquilo que os matemáticos designam por um operador (Klein, 1994): zona do espaço onde se faz sentir a acção de uma determinada força.

As partículas são todas invisíveis, apenas as podemos “ver” através dos vestígios que deixam em certos materiais, i.e, da interacção com outras partículas.

Formação das partículas

À escala macroscópica quando dois objectos colidem, fragmentam-se, usualmente, em pedaços. No mundo das partículas, as coisas passam-se de um modo diferente. Uma partícula não se “fragmenta” no sentido que vulgarmente se dá a esta palavra. Durante a colisão, ocorre a transformação da energia do choque em novas partículas, em virtude da energia (E) ser equivalente à massa (m) ($E=mc^2$). Estas partículas, formadas no decurso da colisão, normalmente são instáveis e irão repartir a energia que possuem entre massas (criação de novas partículas) e energia cinética. Esse processo pode ser observado se for lento (se durar mais de 10^{-13} s) (Klein, 1994).

Algumas das partículas criadas são comuns, como os prótons, os electrões ou os neutrinos, e encontram-se habitualmente na natureza, enquanto que outras existem apenas por curtos instantes.

Noções sumárias sobre partículas elementares

No microcosmo distinguem-se três níveis que diferem entre si pelas escalas das suas dimensões, R , e energias, E , características (Tabela A.1).

Tabela A1- Níveis do microcosmo (Yavorski, Detlaf, 1990)

Nível	R	E
1º - molecular-atómico	$\sim 10^{-8}$ - 10^{-10} m	~ 1 - 10 eV
2º - nuclear	$\sim 10^{-14}$ - 10^{-15} m	$\sim 10^6$ - 10^8 eV

3º - micropartículas		
----------------------	--	--

No terceiro nível ficam as partículas que não são moléculas, nem átomos, nem núcleos (exceptuando o protão – núcleo do átomo de hidrogénio). São designadas, normalmente, por partículas elementares, embora por vezes tenham estrutura interna própria.

Inicialmente, a classificação das partículas elementares estava assente nos valores das suas massas: leptões (ligeiros), mesões (intermédios), bariões (pesados) e hiperões (posição superior, excesso).

Actualmente, considera-se que o nível das partículas elementares está dividido em dois sub-níveis: o dos hádrões e o das partículas fundamentais. Consideram-se como hádrões as partículas compostas; as partículas fundamentais são interpretadas como sendo partículas verdadeiramente elementares.

Interacções fundamentais

Todos os processos em que participam as partículas elementares são condicionados pelas interacções que estas estabelecem. Estas interacções fundamentais podem ser de quatro tipos:

- A interacção forte, própria das partículas pesadas (no interior do núcleo).
- A interacção electromagnética, existente em partículas com carga eléctrica e nos fótons.
- A interacção fraca, própria de todas as partículas (também no interior do núcleo), salvo os fótons.
- A interacção gravitacional, própria de todos os corpos no Universo e que se traduz na actuação das forças de gravitação universal.

Atendendo às interacções que estabelecem, designam-se por leptões as partículas elementares que não participam nas interacções fortes e têm spin $J=1/2$, isto é, as que são fermiões. Os leptões são considerados partículas fundamentais.

Chamam-se hádrões às partículas elementares que participam nas interacções fortes; todas elas participam igualmente nas interacções fracas (assim como na gravitacional). Os hádrões são partículas complexas pois possuem estrutura interna.

Os electrões são representantes típicos da chamada classe dos leptões, ao passo que os nucleões, os da classe dos hádrões. A tabela A.2 apresenta as interacções típicas de cada classe de partículas.

Tabela A.2- Interações típicas de cada classe de partícula (Halliday, Resnick, Walker, 1995)

	Leptões	Hadrões	
		Mesões	Bariões
Fermiões (spin semi-inteiro)	Fraca	–	Forte Fraca Gravitação
Bosões (spin inteiro)	–	Forte Fraca Gravitação	–

Não existem partículas conhecidas nas categorias correspondentes às casas vazias desta tabela. Assim, todos os leptões e bariões são fermiões e todos os mesões são bosões.

Segundo a teoria quântica dos campos, para que haja uma interação, entre duas partículas, é preciso existir o intercâmbio de um quantum de energia. Ou seja, é preciso existir uma terceira entidade que “mediatiza” a interação (Klein, 1994). Os bosões fundamentais são as partículas que mediatizam as quatro interações. Os fótons, quanta do campo electromagnético, são representantes típicos da classe dos bosões fundamentais.

Em virtude do aumento de conhecimento sobre a sua estrutura, foi possível simplificar substancialmente a descrição das partículas e das interações que estabelecem. No entanto, o conhecimento destas partículas é ainda muito complexo e ainda há muito a estudar.

A.2 – PRODUÇÃO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

No movimento ondulatório há propagação de uma perturbação, que altera as propriedades físicas do sistema, através do espaço. Quando as propriedades físicas do sistema são descritas por equações de um campo dependente do tempo, podemos falar de uma onda associada a um campo particular (Alonso & Finn, 1981)

No caso de uma onda electromagnética as propriedades físicas do sistema são descritas por um campo electromagnético.

As ondas electromagnéticas podem ter diferentes origens:

- Dipolos eléctricos oscilantes

As ondas electromagnéticas podem ser originadas por cargas eléctricas em movimento. Por exemplo, quando ocorre uma perturbação no movimento de um electrão num átomo.

Quando o momento de um dipolo eléctrico é constante, origina um campo eléctrico constante. Mas quando o momento varia, o campo eléctrico também varia induzindo o aparecimento de um campo magnético.

- Dipolos magnéticos oscilantes

Um dipolo magnético estático origina um campo magnético constante. Mas se este dipolo oscilar, o campo magnético produzido também será oscilante. Este facto implica a presença simultânea de um campo eléctrico.

- Carga acelerada

Se uma carga se mover com movimento rectilíneo e uniforme não radia energia electromagnética, mas o mesmo já não acontece se apresentar um movimento acelerado. Se a carga está a mover-se com movimento rectilíneo e uniforme, o campo eléctrico é estático e a energia permanece constante. Se a carga é acelerada, há um excesso de energia que tem de ser transferido para todo espaço, dando origem ao campo electromagnético.

A.3 – BANDAS DE RADIAÇÕES ELECTROMAGNÉTICAS

As grandezas usadas para a caracterização de uma onda electromagnética são o comprimento de onda λ e a frequência f . Entre elas existe a relação $\lambda f = v$, sendo v a velocidade de propagação da onda.

As ondas electromagnéticas podem classificar-se em: ondas de radiofrequência (ou ondas hertzianas), radiação óptica, radiação Roentgen ou raios X e raios gama (Yavorski e Detlaf, 1990), correspondendo a cada uma destas designações um intervalo de frequências que se designa por *banda*.

Na apresentação que se segue deve ter-se em atenção que não há uma separação rígida entre bandas de frequência e que a origem de uma radiação é, frequentemente, determinante na sua inclusão numa dada banda (de Almeida, 1997).

Ondas de radiofrequência são as ondas electromagnéticas cujo comprimento de onda λ no vazio é superior a 10^{-3} m (respectivamente, $\nu < 3 \times 10^{11}$ Hz), e que são produzidas por dispositivos electrónicos (de Almeida, 1997). Dadas as características específicas de propagação e de geração das mesmas podemos considerar diferentes bandas (Tabela A.3).

Tabela A.3 - Classificação das frequências das radiofrequências (Yavorski, Detlaf, 1990).

Bandas de frequência		Limites das bandas
N.º da banda	Nome da banda	
ELF	Extremely Low Frequency (frequência extrabaixa)	3 - 30 Hz
ULF	Ultra Low Frequency (frequência ultrabaixa)	30 - 300Hz
ILF	Infra Low Frequency (frequência infrabaixa)	0,3 - 3kHz
VLF	Very Low Frequency (frequência muito baixa)	3 - 30 kHz
LF	Low Frequency (frequência baixas)	30 - 300 kHz
MF	Medium Frequency (frequência média)	0,3 - 3 MHz
HF	High Frequency (frequência alta)	3 - 30 MHz
VHF	Very High Frequency (frequência muito elevada)	30 - 300 MHz
UHF	Ultra High Frequency (frequência ultra-elevada)	0,3 - 3 GHz
SHF	Super High Frequency (frequência super-elevada)	3 - 30 GHz
EHF	Extremely High Frequency (frequência extra-elevada)	30 - 300 GHz

Outras classificações das frequências das radiofrequências podem ser as indicadas nas tabelas A.4 e A.5.

Tabela A4 - Classificação das frequências das radiofrequências (Yavorski e Detlaf, 1990).

Bandas de frequências	Comprimento de onda, m	Frequência, Hz
Ondas ultralongas	Superior a 10^4	Inferior a 3×10^4
Ondas longas	$10^4 - 10^3$	$3 \times 10^4 - 3 \times 10^5$
Ondas médias	$10^3 - 10^2$	$3 \times 10^5 - 3 \times 10^6$
Ondas curtas	$10^2 - 10$	$3 \times 10^6 - 3 \times 10^7$
Ondas métricas	$10 - 1$	$3 \times 10^7 - 3 \times 10^8$
Ondas decimétricas	$1 - 10^{-1}$	$3 \times 10^8 - 3 \times 10^9$
Ondas centimétricas	$10^{-1} - 10^{-2}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{10}$
Ondas milimétricas	$10^{-2} - 10^{-3}$	$3 \times 10^{10} - 3 \times 10^{11}$

Tabela A5 - Classificação das frequências das radiofrequências (de Almeida, 1997).

Sigla	Nome	Frequência, Hz
FM	Frequency modulation	$8,8 \times 10^7 - 1,08 \times 10^8$
SW	Short wave	$2,3 \times 10^6 - 2,2 \times 10^7$
MW	Medium wave	$5,25 \times 10^5 - 1,625 \times 10^6$
LW	Long wave	$1,50 \times 10^5 - 3,50 \times 10^5$

As ondas radar e as microondas são bandas de radiações electromagnéticas que são colectivamente descritas pelo termo *radiofrequências* ou RF.

Radiação óptica ou, simplesmente, luz, são as radiações electromagnéticas cujos comprimentos de onda, no vazio, ficam compreendidos dentro dos limites de 10 nm a 1mm (limites convencionais). Na radiação óptica incluem-se a radiação infravermelha, a radiação visível e a radiação ultravioleta (Yavorski e Detlaf, 1990).

- **Radiação infravermelha (IV)** é produzida nas transições entre estados de energia das moléculas, e dos corpos aquecidos. É vulgar designar as radiações electromagnéticas que uma substância emite à custa da sua energia interna por radiações térmicas (Yavorski e Detlaf, 1990).

São ondas electromagnéticas cujos comprimentos no vazio ficam compreendidos entre 1 mm e 770 nm. Esta região é, normalmente, subdividida em três: o infravermelho distante, de 10^{-3} m a $3 \cdot 10^{-5}$ m, o infravermelho médio, de 3×10^{-5} m a 3×10^{-6} m, e o infravermelho

próximo, que vai até $7,7 \times 10^{-7}$ m, embora alguns autores usem outras designações, como, por exemplo a da tabela A.6.

Tabela A.6 - Classificação das frequências das radiações IV (de Lima, 2003)

	λ/nm
Região fotográfica	760 -1300
Região dos harmónicos	1300 -2500
Região das vibrações fundamentais	2500 -25 000
Região das rotações moleculares	25 000 – 3×10^6

- **Radiação visível**, ou luz visível, é a radiação electromagnética cujo comprimento de onda no vazio se atribui à banda de 770 nm a 380 nm, sendo, a mesma, capaz de produzir, no olho humano, a sensação visual. Resulta de transições electrónicas, em átomos e moléculas, envolvendo os electrões exteriores (Yavorski e Detlaf, 1990). Quando o estímulo é intenso (visão fotópica), a CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) estabeleceu que os limites do espectro visível são 360 nm e 830 nm (de Almeida, 1997).

Embora a percepção de cor seja um fenómeno subjectivo, apresenta-se na tabela A.7, como indicação, uma correspondência entre cores e comprimentos de onda (de Almeida, 1997).

Tabela A.7 - Correspondência entre cores e comprimentos de onda (de Almeida, 1997).

COR	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
λ/nm	< 435	435 - 490	490 - 570	570 - 595	595 - 605	> 605

- **Radiação ultravioleta (UV)** diz-se da radiação electromagnética cujos comprimentos de onda, no vazio, variam entre 380 nm e 100 nm. É proveniente de transições atómicas e moleculares devido a descargas eléctricas, ou do aquecimento de uma substância a uma temperatura igual ou superior a 2500 K (de Almeida, 1997).

Os dermatologistas costumam distinguir três regiões (Tabela A.8).

Tabela A.8 – Classificação das radiações UV (de Lima, 2003)

	$\lambda(\text{nm})$	Energia (eV)
UV-A	400-315	3,1-3,9
UV-B	315-280	3,9-4,4
UV-C	280-100	4,4-12,4

Uma segunda classificação, é apresentada na tabela A.9.

Tabela A.9 – Classificação das radiações UV (de Lima, 2003)

	λ (nm)	Energia (eV)
UV-próximo	400 - 300	3,1 - 2,7
UV-médios	300 - 200	2,7 - 6,2
UV-remotos	200 - 100	6,2 - 12,4
UV-extremos	< 100	> 12,4

Uma terceira classificação é, por vezes, usada em biologia (Tabela A.10).

Tabela A.9 – Classificação das radiações UV (de Lima, 2003)

	λ (nm)	Energia (eV)
UV-próximos	400 - 315	3,1 - 3,9
UV-actínicos	315 - 200	3,9 - 6,2
UV-vácuo	< 200	> 6,2

A radiação com $\lambda < 200$ nm designa-se por UV-vácuo porque como é absorvida pelo ar, só se propaga no vazio, de modo que não são conhecidos efeitos biológicos deste tipo de radiações.

Designam-se, genericamente, como **radiações ionizantes** as radiações electromagnéticas X e γ , os electrões de alta velocidade, os neutrões, os prótons e outras partículas nucleares. (cf, o Decreto Regulamentar n.º 9/90 de 19 de Abril).

As radiações dizem-se ionizantes quando a sua energia é suficientemente elevada para que sejam capazes de provocar ionização de uma molécula de ar. Para ionizar uma molécula de água ou de ar, uma partícula tem de ter uma energia superior a 12 eV (Tubiana e Bertin, 1990).

- **Radiação Roentgen**, ou simplesmente raios X é a radiação electromagnética produzida por transições dos electrões dos níveis mais internos do átomo e pela aceleração de cargas eléctricas (de Almeida, 1997). Os comprimentos de onda associados, no vazio, ficam compreendidos dentro de uma ampla banda de limites convencionais de 10–100 nm até 0,01–1 pm ($3 \times 10^{16} \text{ Hz} < \nu < 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$) (Yavorski e Detlaf, 1990).

- **Radiação gama**, ou simplesmente, raios gama é a radiação electromagnética cujos comprimentos de onda no vazio são inferiores a 0,1 nm ($\nu > 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$) (Yavorski e Detlaf, 1990); a emissão dessas ondas é produzida nos núcleos atómicos excitados durante as transformações radiactivas e as reacções nucleares, bem como durante a desintegração das partículas, a aniquilação dos pares “partícula-antipartícula” e outros processos.

A.4 – LASER

O laser é um aparelho que produz e amplifica a radiação óptica. O termo LASER é um acrónimo da expressão inglesa “*Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation*”. Estes aparelhos amplificam a radiação produzida através da emissão estimulada. Ou seja, através de estimulação adequada, obtém-se uma emissão com determinadas características. Essa emissão é amplificada usando espelhos especiais que permitem obter uma situação de ressonância. Obtido o feixe, este sai para o exterior do sistema, utilizando um pequeno espelho semitransparente (feixe contínuo), ou suprimindo brevemente um dos espelhos (emissão pulsante ou modular).

A radiação Laser é uma forma de radiação electromagnética. A diferença entre a radiação “normal” e a radiação LASER está em quatro características distintas – a Monocromaticidade, Direccionalidade, Intensidade e Coerência.

Monocromaticidade

Num feixe LASER o intervalo de comprimentos de onda das radiações, é extremamente reduzido pelo que, na prática, se considera a radiação monocromática. Esta característica confere-lhe outra propriedade, característica da radiação LASER, a coerência.

Coerência

A radiação LASER apresenta dois tipos de coerência, a espacial e a temporal. A coerência espacial pressupõe que as ondas observadas num ponto do espaço chegam na mesma fase de oscilação. No caso da radiação LASER, as ondas luminosas geradas são idênticas e estão ordenadas em fase, pelo que apresenta um alto grau de coerência espacial.

Intensidade e Direccionalidade

A radiação LASER é extremamente intensa porque quase todos os átomos contribuem para a emissão. É muito direccional porque o ângulo de divergência é praticamente nulo pelo que, na prática, diz-se unidireccional.

ANEXO – B

EFEITOS DAS RADIAÇÕES

Embora certas propriedades básicas sejam comuns a todas as radiações electromagnéticas, a gama das frequências do espectro é tão larga que os efeitos produzidos pelos diferentes tipos de radiações, quando interagem com a matéria podem ser essencialmente diferentes.

Esta análise irá abordar três níveis de efeitos que diferem entre si pela escala de matéria atingida. Contudo, embora esta análise seja feita em separado, deve ter-se em atenção que estes efeitos estão intimamente relacionados.

B.1 – FENÓMENOS ELEMENTARES

Quando uma radiação incide sobre a matéria pode atravessá-la sem alterar as suas características (trajectória e energia) - não houve interacção – ou ocorrer uma alteração da sua trajetória e/ou da sua energia - houve interacção (colisão). Estas alterações podem dever-se a interacções com os electrões ou com os núcleos dos átomos constituintes da matéria, ou com ambos (de Lima, 2003).

Embora existam diferentes tipos de radiações, com características distintas, todas elas perturbam a matéria que atravessam de forma semelhante. Estas perturbações resultam de transferências de energia e dependem principalmente da massa e da carga eléctrica da partícula incidente (Cavendon, 2000). Atendendo a este facto as interacções serão analisadas segundo quatro categorias: a das partículas de massa e carga eléctrica nulas (fótons), a das partículas de massa elevada e carregadas (prótons, partículas α , iões pesados), a das partículas de massa baixa e carregadas (electrões) e finalmente a dos neutrões com massa elevada e electricamente neutros.

PARTÍCULAS COM CARGA

Partículas carregadas com massa elevada (partículas α , prótons e iões)

Apresentam um poder ionizante elevado.

Como têm uma massa elevada, no caso de interacções com electrões, a sua trajetória praticamente não é alterada. Quando interactivam com um núcleo, a sua trajetória já pode sofrer grandes desvios.

Partículas carregadas com massa pequena (partículas β)

1- Interacção das partículas β com o núcleo

A partícula β sofre alterações de trajectória significativas embora a sua energia não seja muito alterada. Este processo é conhecido por “dispersão de Rutherford” e corresponde a uma colisão elástica.

Quando a partícula β é desviada da sua trajectória inicial, é sujeita a uma aceleração. Associada a esta aceleração surge a probabilidade de ocorrer uma emissão de um fóton, podendo a energia irradiada variar desde zero até ao valor da energia cinética total partícula β . Assim, o resultado da interacção da partícula β com o núcleo pode ser a emissão de radiação electromagnética de diferentes comprimentos de onda (radiação de Bremsstrahlung) e a diminuição da energia cinética da partícula β .

2- Interacção das partículas β com os electrões

A repulsão entre uma partícula β^- e um electrão periférico, origina uma distribuição da energia cinética inicial da partícula β^- entre os dois. Se o aumento de energia cinética for elevado pode ocorrer a excitação ou a ionização do átomo. Em ambos os casos, a partícula β , ao perder energia, diminui a sua velocidade e acabará por combinar-se com um átomo ionizado do meio. O electrão, se for removido, passará a comportar-se como uma partícula ionizante.

PARTÍCULAS SEM CARGA

Partículas sem carga e massa nula (fótons)

1- Interacção dos fótons com os electrões

O poder ionizante dos fótons é bastante menor do que o das partículas com massa.

Um fóton pode interagir quer com o núcleo quer com os electrões do átomo. Essa interacção pode originar uma colisão elástica, inelástica ou a absorção completa da energia do fóton.

Se o fóton for pouco energético (radiofrequências e radiação IV) a energia transferida irá traduzir-se por um aumento da energia de vibração e rotação moleculares.

Se o fóton for medianamente energético (radiação visível) já pode alterar a configuração electrónica. Contudo, a interacção entre o fóton e o electrão não é suficiente para produzir a ionização.

Se o fóton for muito energético (alguma radiação UV, radiação X e radiação gama), pode provocar a remoção do electrão ficando o átomo atingido ionizado.

São apresentadas, a seguir, alguns tipos de interacções que os fótons podem estabelecer com os electrões dos átomos do absorvente.

Efeito Fotoelétrico

No efeito fotoelétrico toda a energia do fóton é transferida para o meio. Parte da energia é usada na extração do electrão do átomo e a restante é transferida para o electrão na forma de energia cinética.

- O átomo fica ionizado, sofrendo um rearranjo dos electrões.
- O electrão extraído torna-se uma partícula ionizante.

Efeito de Compton

Interacção entre o fóton e um electrão, na qual só parte da energia do fóton é cedida.

- O fóton perde energia e muda de direcção.
- O átomo fica ionizado, sofrendo um rearranjo dos electrões.
- O electrão extraído torna-se uma partícula ionizante secundária.

Difusão de Rayleigh-Thomson

Interacção entre o fóton e o electrão não é suficiente para produzir a ionização ou a excitação do átomo, trata-se de uma colisão elástica. O fóton sofre uma ligeira mudança de direcção sem perda de energia.

2- Interacção dos fótons com o núcleo

Para energias elevadas, superiores a 1,022 MeV, o fóton pode interagir com o núcleo do átomo.

Efeito da produção de pares

Quando o fóton fica sujeito ao campo eléctrico intenso que existe na proximidade de um núcleo, a energia pode converter-se em matéria, produzindo-se um positrão e um electrão.

- O excesso de energia do fóton aparece na forma de energia cinética.
- O electrão e o positrão extraídos tornam-se partículas ionizantes secundárias.

Quando o positrão tiver perdido praticamente toda a sua energia combina-se com um electrão, as suas massas desaparecem e são produzidos dois fótons de 0,511 MeV.

Partículas sem carga e massa elevada

Os neutrões, como são partículas sem carga, só interactivam com os núcleos. A interacção pode ser de três formas diferentes:

- colisão elástica com os núcleos;
- colisão inelástica com núcleos,
- reacções nucleares com a produção de partículas carregadas ou de novos neutrões.

Na colisão elástica toda a energia perdida pelo neutrão aparece sob a forma de energia cinética do núcleo com o qual se produziu o choque. A colisão é inelástica se uma parte da energia for excitar o núcleo, ficando este com mais energia.

Nas reacções nucleares podemos ter processos de captura de neutrões que podem dar origem à emissão de radiação gama, radiação alfa ou emissão de protões, ou ainda reacções de cisão nuclear.

B.2 – FENÓMENOS RADIOQUÍMICOS

Numa segunda fase, a ionização de um átomo no interior de uma molécula pode originar a ruptura desta e os fragmentos produzidos neste processo, designados por radicais, são quimicamente muito reactivos. Esses radicais recombina-se muito rapidamente com as moléculas e átomos vizinhos, dando origem a diversas reacções químicas e a alterações em numerosas moléculas.

No caso dos seres vivos, atendendo a que a disposição relativa dos átomos é essencial para o bom funcionamento das moléculas químicas e bioquímicas, as alterações provocadas pelos radicais irão dar origem a lesões. Estas lesões podem ser classificadas em directas (provocadas pela radiação) ou indirectas (provocadas pelos radicais).

B.3 – EFEITOS BIOLÓGICOS

Segundo o *Office of Engineering & Technology*, um *efeito biológico* ocorre quando existe uma resposta mensurável num sistema biológico a algum tipo de estímulo ou a uma alteração no meio envolvente (OET, 1999). Contudo, segundo a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, a observação de um efeito biológico não sugere necessariamente a existência de um perigo biológico. Um efeito biológico só se torna um *perigo biológico* quando “causa uma deterioração detectável da saúde do indivíduo ou da sua descendência” (ICNIRP, 1998). Assim, os efeitos biológicos não são necessariamente prejudiciais à saúde.

Os efeitos biológicos são de natureza extremamente diversa, variando com o tipo da radiação, com a pessoa irradiada, o órgão atingido, a dose administrada, as condições da irradiação, etc.

Em seguida são apresentados alguns efeitos biológicos das radiações. Nesta apresentação, optou-se por separar as radiações ionizantes das não ionizantes visto os mecanismos de interacção com os seres vivos serem bastante diferentes.

RADIAÇÃO NÃO-IONIZANTE

Ondas de radiofrequência (RF)

Efeitos directos

No caso das ondas de radiofrequências, os efeitos mais conhecidos são os efeitos térmicos que se traduzem por um aquecimento do tecido biológico. Quando o nível de aquecimento dos tecidos excede a capacidade natural de termo-regulação do organismo humano, podem ocorrer danos nesses mesmos tecidos.

Dados experimentais mostraram que a exposição de humanos a 30 min de campos electromagnéticos produzindo um SAR (*Specific Absorption Rate*, em português Taxa de Absorção Específica), em todo o corpo, de 1 a 4 W.kg⁻¹, provoca uma elevação da temperatura inferior a 1°C. A exposição a campos mais intensos pode provocar aumentos de temperatura superiores, em certos tecidos, se a capacidade de termo-regulação for ultrapassada (ICNIRP, 1998).

Existem dois órgãos do corpo que são particularmente vulneráveis ao aquecimento provocado pelas RF, por não possuírem um sistema de irrigação sanguíneo capaz de dissipar a carga excessiva de calor. Estes órgãos são os olhos e os testículos. Nos estudos realizados, observou-se o aparecimento de cataratas (estudo efectuado em ratos) e o aparecimento de esterilidade temporária (diminuição de espermatozóides e diminuição da sua mobilidade) (OET, 1999).

Para além dos efeitos térmicos, resultantes da exposição a ondas de radiofrequências, há ainda a possibilidade de efeitos biológicos não térmicos.

Embora não seja usual manifestar-se, verificou-se que as microondas podem provocar um efeito audível, em certas condições específicas de frequência, modulação de sinal e intensidade. Alguns animais, incluindo os humanos, percebem este sinal como um zumbido ou um “click”. Embora existam várias teorias que tentam explicar este fenómeno, a hipótese mais aceite é a de que as microondas produzem uma pressão termo-elástica dentro da cabeça que é percebida como um som, pelo aparelho de audição dentro da cabeça (OET, 1999).

Várias publicações têm relatado a observação de outros efeitos biológicos, como por exemplo: alterações no sistema imunológico, efeitos neurológicos, alterações de comportamento, relação entre a exposição às microondas e a acção de certas drogas e compostos, um efeito no tecido cerebral “*calcium efflux*”, e efeitos no ADN.

Alguns estudos também examinaram a possibilidade da existência de uma ligação entre a exposição às microondas e a existência de cancro. Os resultados não foram até à data

conclusivos. Actualmente está a ser realizada mais investigação em vários laboratórios para aumentar o conhecimento sobre os efeitos não térmicos (OET, 1999).

Efeitos indirectos dos campos electromagnéticos

Os campos electromagnéticos intensos também podem originar efeitos indirectos na saúde: podem ocorrer choques e queimaduras resultantes do contacto com objectos metálicos que estejam sujeitos a um campo electromagnético intenso.

Radiação Infravermelha (IV)

A acção das radiações infravermelhas reduz-se a um aumento da agitação térmica das moléculas do meio absorvente provocando um aumento da temperatura, do local irradiado, e a uma débil actividade fotoquímica (de Lima, 2003). Também nesta situação, se o nível de aquecimento exceder a capacidade de termo-regulação poderão ocorrer lesões nos tecidos.

A radiação IV com $\lambda > 1,4 \mu\text{m}$ pode causar lesões no olho, em especialmente na córnea. A radiação IV com $\lambda < 1,4 \mu\text{m}$ poderá causar lesões na retina.

Radiação Visível

A radiação visível produz, no olho humano, a sensação visual que consiste na conversão da imagem luminosa em sinais neurais que são enviados ao cérebro.

Na retina, que é a parte do olho sensível à luz, há dois tipos de receptores: os cones e os bastonetes. Existem três tipos de cones que são responsáveis pela visão diurna. Usualmente, são designados por sensíveis ao azul, sensíveis ao verde e sensíveis ao vermelho devido à sensação de luz monocromática, que ocorre, no máximo da sensibilidade destes cones (respectivamente 440nm, 540 nm e 570 nm). Os bastonetes são responsáveis pela visão quando a luz é fraca. Estes receptores estão saturados nas intensidades da luz diurna e portanto não contribuem para a nossa sensação visual durante o dia.

A excitação de um cone, de modo a produzir um sinal neural, é um processo electroquímico. Nas células responsáveis pela visão, existe uma “bomba” que mantém um estado de desequilíbrio em termos da concentração de iões potássio e sódio. Existem mais iões K^+ dentro da célula do que no exterior, enquanto que a concentração de iões Na^+ é superior no exterior da célula.

Na ausência de luz, os iões Na^+ fluem para dentro da célula através da superfície da membrana de modo a compensar quase toda a perda de carga positiva devido ao fluxo de iões K^+ para o exterior. A elevada permeabilidade da membrana em relação ao sódio é mantida por uma substância - o nucleótido cíclico de monofosfato de guanosina (cGMP) -, que apresenta uma concentração elevada na ausência de luz. No escuro, várias moléculas

de cGMP ligam-se a um poro e fazem-no abrir. Sob a influência da luz ocorre uma alteração da configuração da molécula de “*rhodopsin*” que leva a várias reacções enzimáticas que resultam na divisão de centenas de moléculas de cGMP. Assim que a sua concentração diminui, os nucleótidos deixam os seus locais de ligação e os poros fecham. O fluxo de iões sódio para o interior da célula é interrompido e o potencial da célula fica mais negativo. Este sinal eléctrico é transmitido ao cérebro.

Na banda visível a aversão natural à luz brilhante limita a duração da exposição a 0,25 s. Contudo, os estudos realizados sugerem que a exposição dos receptores a níveis ligeiramente superiores aos das condições normais pode ser suficiente para causar stress da actividade celular visual ao ponto desta falhar.

Radiação Ultravioleta

Os efeitos biológicos da radiação ultravioleta, com maior interesse, ocorrem devido à irradiação da pele, dos olhos e da boca (Hughes, 1981).

Os efeitos podem ser divididos em efeitos a curto prazo, que ocorrem em algumas horas ou dias da irradiação, ou em efeitos a longo prazo, que ocorrem após um período latente de alguns meses ou até anos. Os efeitos a longo prazo ainda podem ser divididos em duas categorias: efeitos não estocásticos ou determinísticos e efeitos estocásticos.

Para os *efeitos não estocásticos* é possível estabelecer uma relação determinística de causalidade entre dose e efeito. Os *efeitos estocásticos* usualmente só são distinguíveis em dados estatísticos da população e seguem uma lei probabilística dose-efeito (Martinho e Salgado, 1996).

Efeitos não estocásticos a curto prazo

Efeitos na pele

Existem quatro tipos de efeitos a curto prazo:

1- Escurecimento do pigmento. Este efeito ocorre imediatamente após a irradiação e é mais pronunciado nos comprimentos de onda de 300 nm. Deve-se a ocorrer a oxidação dos melanócitos já existentes na pele.

2- Produção de eritema (queimadura solar). Os primeiros estudos realizados registaram um máximo no espectro de acção a 297 nm, um mínimo acentuado a 280 nm e um pico ligeiramente inferior a 254 nm. Estudos posteriores obtiveram espectros de acção diferentes mas estes podem dever-se a diferentes formas de avaliar o grau de vermelhidão da pele (Hughes, 1981).

O eritema causado por radiação de 254 nm demora cerca de 12 h a atingir o máximo de gravidade e é de curta duração. O causado por uma radiação de 297 nm demora 48 h a

desenvolver-se completamente e dura vários dias. Uma radiação UV-A, isto é com comprimento de onda superior a 315 nm, tem menor capacidade para produzir eritemas. O eritema causado por radiação de 385 nm (pico para UV-A) desenvolve-se imediatamente, atinge o máximo após a uma hora e usualmente dura menos de um dia.

A quantidade de radiação UV necessária para produzir um eritema minimamente visível depende de vários factores, desde a susceptibilidade individual da pessoa, a coloração da pele e pigmentação, exposição anterior, idade, local específico da irradiação, da humidade presente na pele, da medicação administrada ou aplicada localmente e, claro, do comprimento de onda da radiação.

3- Aumento da pigmentação (bronzado). Resulta inicialmente da migração dos melanócitos para a superfície e, mais tarde, do aumento de produção de melanócitos.

4- Alterações no crescimento das células. Inicialmente existe a cessação de crescimento celular. Contudo, após 24 h, verifica-se um aumento da divisão celular.

Efeitos nos olhos

A exposição dos olhos acima dos valores normais produz inflamações da córnea e conjuntivites. Existe um período de latência, usualmente de várias horas, entre a exposição e o aparecimento da inflamação. Os sintomas normalmente regredem após vários dias sem causar danos permanentes. O pico do espectro de acção ocorre a 270nm.

Efeitos nos tecidos da boca.

Vários procedimentos dentários usam a radiação UV. Estes procedimentos deram origem a vários relatos de acidentes com dentistas, os seus assistentes e pacientes. As zonas afectadas foram os olhos, a face, a cavidade oral, a mão e o antebraço.

Efeitos não estocásticos a longo prazo

Efeitos na pele

A exposição prolongada a radiações UV causa envelhecimento, degeneração do tecido da derme com diminuição da elasticidade, resultando em rugas mais profundas na pele.

Efeitos nos olhos

Como apenas uma pequeníssima parte das radiações UV, com comprimentos de onda inferiores a 310nm, é transmitida através da córnea, o olho está bastante protegido contra as radiações UV-B e UV-C. Contudo, tem sido sugerido que a exposição dos olhos a doses excessivas de radiação UV-A pode causar cataratas a longo prazo.

Efeitos estocásticos a longo prazo

Efeitos na pele

Existem evidências de que a radiação UV pode induzir cancro da pele. Os cancros aparecem normalmente em áreas descobertas da pele, em pessoas de pele clara que têm uma história de exposição prolongada à radiação solar.

Efeitos indirectos

Algumas radiações UV podem provocar a ruptura de moléculas dando origem a produtos tóxicos.

As radiações UV, com comprimentos de onda inferiores a 250 nm, são capazes de dissociar o oxigénio molecular dando origem à formação de ozono. Radiações com comprimentos de onda inferiores a 160 nm, podem dissociar moléculas de azoto. Radiações UV-C decompõem vapores de haletos de hidrocarbonetos, tais como o tetracloreto de carbono e tricloroeteno, formando produtos perigosos.

Radiação solar

A radiação solar, constituída fundamentalmente por radiações IV, visíveis e UV tem uma influência especial na saúde dos humanos. Isto está patente na Directiva da União Europeia “Requisitos mínimos de segurança e saúde no local de trabalho” 89/654/EEC que diz, “8.1 *Iluminação ambiente natural e artificial: Os locais de trabalho devem, tanto quanto for possível, receber luz natural suficiente e serem equipados com iluminação artificial adequada para a protecção da segurança e saúde dos trabalhadores*”

Têm sido realizados vários estudos para estudar a influência da luz solar na nossa saúde, como por exemplo: a absorção de cálcio; a desordem afectiva sazonal; o síndrome da doença do edifício; o álcool e o padrão Outono-Inverno; o consumo de substâncias e a Latitude; o sistema imunitário.

RADIAÇÕES IONIZANTES

Lesões moleculares

Embora todas as lesões provocadas nas moléculas biológicas possam ter consequências graves, estas serão tanto mais graves quanto mais importantes forem as funções desempenhadas por essas moléculas. Como a função de reprodução das células está armazenada nas cadeias de ADN (*ácido desoxirribonucleico*), as lesões consideradas mais graves são as do ADN.

O efeito das radiações é radioquímico e passa quer por uma ionização directa do ADN, quer pela ionização ou excitação de outras moléculas vizinhas. A radiólise da água (formação de radicais livres devido à rotura das moléculas de água) é uma das causas de rotura do ADN, via oxidação pelos radicais livres, nomeadamente OH^\bullet .

Os efeitos radioquímicos podem ser de diversos tipos:

- modificações das bases;
- mudanças de conformação do ADN;
- lesões por entrecruzamento ("*cross links*");
- remodelações da estrutura dos cromossomas.

Estima-se que uma dose de um gray (unidade de dose absorvida, $1\text{Gy} = 1\text{J.kg}^{-1}$, ver tabela C.3) provoca mil roturas simples numa espiral de ADN e duas mil alterações num aminoácido.

Contudo, verifica-se que as lesões permanentes são muito menores do que as esperadas. Este facto deve-se a que as células possuem mecanismos enzimáticos que reparam o ADN afectado por agentes químicos e físicos.

Reparação do ADN

Quando as lesões, provocadas pela irradiação, afectam apenas um dos filamentos da dupla hélice de ADN a reparação é na maioria das vezes total: 85% destas lesões são corrigidas em alguns minutos e as restantes em algumas horas (Cavedon, 2000).

A reparação de defeitos duplos é mais difícil tendo como consequência, por vezes, reparações incorrectas que podem levar à morte da célula ou à sua cancerização. As partículas pesadas (neutrões e partículas α), que libertam a sua energia em pontos muito próximos ao longo da sua trajectória, são as mais susceptíveis de provocar lesões duplas.

As lesões que não forem reparadas ou forem reparadas de forma incorrecta podem evoluir segundo três vias. As lesões irreversíveis do ADN, podem conduzir à morte imediata, quando a estrutura química da célula perde a sua integridade, ou à morte diferida: a célula continua a funcionar mas ocorreu uma modificação definitiva do património hereditário da célula. Na segunda situação a célula pode perder a capacidade de se dividir e dar origem a células filhas normais ou tornar-se imortal, isto é, adquire a capacidade de se reproduzir

indefinidamente. Se a lesão ocorrer nas células sexuais, o erro genético é transmissível aos descendentes. Contudo raramente é originado um código genético viável (Cavedon, 2000).

Uma lesão diz-se letal, quando é suficiente para matar a célula. Uma lesão diz-se subletal, se a célula só morrer após uma segunda lesão. O futuro de uma célula depende da sua capacidade de se regenerar correctamente entre a primeira e a segunda irradiação. Esta competição entre a regeneração e o débito da dose (o fluxo de partículas irradiantes) está na origem dos tratamentos do cancro por irradiação (a velocidade de regeneração das células cancerosas é menor).

A proporção de células sobreviventes depende da dose de radiação, fonte de radiação, intensidade e duração da exposição (Dernell e Wheaton, 1995). Outro factor que também influencia a proporção de células sobreviventes é o ambiente das células (a diminuição do teor de oxigénio aumenta a radiorresistência).

A relação entre a dose e a proporção de células sobreviventes varia segundo o tipo de célula. Em todas as células, a dimensão do alvo e a radiosensibilidade são tanto maiores quanto maior for a quantidade de material genético (ADN).

Quando as células de mamíferos são irradiadas com partículas fortemente ionizantes (α e neutrões), a relação dose/efeito é exponencial. No caso de irradiação pouco ionizantes (electrões, raios X ou γ) a relação varia: se a dose for menor do que 1Gy a eficiência da irradiação, é fraca mas aumenta com a dose; para valores de alguns gray a relação dose-efeito torna-se exponencial.

Em média, para as células de mamíferos, uma irradiação única de:

- 1 Gy mata entre 15% a 25% das células presentes
- 2 Gy mata cerca de 40% a 55% das células presentes
- 3 Gy mata cerca de 50% a 70% das células presentes.

Quando a irradiação é fraccionada, se as sessões forem separadas por um intervalo superior a algumas horas, a totalidade das lesões subletais é reparada e tudo se passa como se as células sobreviventes tivessem esquecido a irradiação precedente. É por isso que, para a mesma dose total, a proporção de células sobreviventes é tanto mais elevada quanto maior for o número de sessões em que a dose foi aplicada.

Embora as lesões sejam ocasionadas nas células, os seus efeitos manifestam-se no nível superior de organização, isto é, nos tecidos ou órgãos constituídos por células do mesmo tipo.

Lesões tissulares

Os efeitos da irradiação dos tecidos, só se manifestam quando ocorre a morte de um número significativo de células constituintes desse tecido. Se não for atingida uma proporção significativa de células, o tecido não apresenta nenhuma lesão detectável. É possível determinar uma “dose limiar”, para cada tecido, abaixo da qual não é detectada nenhuma degradação do tecido.

Os efeitos determinísticos sobre os tecidos são característicos de doses fortes (da ordem do gray e acima disso), aplicadas em intervalos de tempo muito curtos. Doses deste tipo reduzem consideravelmente a proliferação celular num tecido.

O atraso no aparecimento e regeneração das lesões depende das características do tecido e varia muito de tecido para tecido.

Classificam-se esquematicamente as células de um tecido em três tipos: as células-mãe (células capazes de auto-reprodução infinita e cuja descendência se diferencia), as células em vias de maturação (células que adquirem progressivamente as características de um tipo de célula), as células diferenciadas ou funcionais. A acção das radiações é sobretudo nítida no primeiro tipo de células e é nula nas células diferenciadas que não se multiplicam mais. Em tecidos em que a divisão celular é lenta, os efeitos demoram a aparecer e os mecanismos de regulação não são accionados, dando origem a lesões irreversíveis.

Efeitos não estocásticos

Para os efeitos não estocásticos o limiar de segurança de cada órgão é conhecido (Tabela B.1) (Dowsett *et al.*, 1998; Webbon, 1995). Atendendo ao que foi dito acima, os tecidos com uma elevada taxa de renovação celular (medula óssea, gónadas, intestinos, etc.) são mais radiosensíveis (Morgan, 1993; Rauth, 1991).

Tabela B.1 – Limiares estimados de efeitos não estocásticos em Sv* para a exposição aguda e crónica de todo o corpo. (Adaptado de Dowsett *et al.* (1998), em Ginja e Ferreira, 2002)

Tecido/efeito	Dose de exposição aguda	Dose anual de exposição crónica
Gónadas masculinas:		
Esterilidade temporária	0,15	0,4
Esterilidade permanente	3,5 – 6,0	2,0
Gónadas femininas:		
Esterilidade	> 2,5	> 0,2
Cristalino:		
Opacidade	2 – 10	> 0,1
Cataratas	> 2,0	> 0,15

Medula óssea Anemia	> 0,5	> 0,4
------------------------	-------	-------

* sievert (Sv) -unidade de dose de radiação equivalente absorvida, 1 Sv = 1 Gy (para radiação X e γ), ver tabela C.3.

Quando a radiação em dose forte atinge o corpo inteiro, o que corresponde muitas vezes a situações acidentais, o quadro clínico é conhecido (Tabela B.2).

Tabela B.2 - Efeitos a curto prazo de uma irradiação global em função da dose (Cavedon, 2000).

Dose	Efeito
< 0,25 Gy	Não tem qualquer efeito determinístico.
[0,25; 1] Gy	Descida nítida dos glóbulos brancos. Os efeitos biológicos são espontaneamente reversíveis e não se justifica qualquer tratamento.
[1; 2,5] Gy	A fórmula sanguínea fica nitidamente degradada e surgem vômitos. Os efeitos são reversíveis espontaneamente.
> 2,5 Gy	É necessária a hospitalização da vítima. A sobrevivência depende do seu estado geral. Fase inicial - náusea e vômitos; diminuição rápida de linfócitos. Fase crítica - fadiga intensa, febre alta, ulcerações bucais, etc.. No sangue o número de glóbulos brancos e plaquetas é bastante reduzido porque a produção medular é praticamente nula. Há o risco de infecção ou hemorragia.
> 8 Gy	Manifestações intestinais (diarreia, hemorragia, etc.) A sobrevivência depende da qualidade dos cuidados prestados. O prognóstico é extremamente sombrio na ausência de um transplante de medula.
> 15 Gy	Verificam-se manifestações neurológicas e não há terapia eficaz.

Efeitos estocásticos

Certas lesões compatíveis com a reprodução celular podem constituir o ponto de partida de um cancro se se tratar de células somáticas, ou de anomalias genéticas se se tratar de células sexuais; estes efeitos, ditos estocásticos, são idênticos seja qual for a dose, e a sua probabilidade aumenta com a dose, não existindo, para os efeitos estocásticos uma dose mínima de segurança (Webbon, 1995). Deve ter-se em atenção que o que depende da dose recebida é a probabilidade de aparecimento do cancro e não a sua gravidade.

Efeitos somáticos

São aqueles que afectam directamente o indivíduo exposto à irradiação e não são transmitidos a gerações futuras.

Entre os efeitos somáticos mais importantes estão:

- a- aumento da incidência de cancro;
- b- desenvolvimento anormal do embrião;
- c- indução de cataratas
- d- redução do tempo de vida média.

Efeitos genéticos

Consistem em mutações nas células reprodutoras, que afectam gerações futuras.

Quando a radiação atinge as células reprodutoras ou seus precursores, pode ocorrer uma alteração na informação genética, provocando uma mutação genética. Se o espermatozóide ou óvulo for utilizado na concepção, a alteração será reproduzida durante a divisão celular e incorporada nas células do novo ser. Se essa mutação não for letal poderá ser transmitida de geração para geração.

Até agora, nenhum efeito genético das radiações foi ainda detectado no homem. A Comissão Internacional de Protecção contra as Radiações (CIPR) considera que o risco genético é três vezes menor que o risco de cancro (Tubiana e Bertin, 1990).

B.4 – EFEITOS PRODUZIDOS PELA RADIAÇÃO LASER

Os efeitos produzidos pela radiação LASER estão directamente relacionados com a quantidade de energia absorvida. Esta depende das características dos tecidos onde incide mas, também, das características físicas da radiação LASER, que, neste caso, se centram na diferença de potência, no comprimento de onda e na frequência da emissão da radiação.

Os Laser de menores potências são usados com fins terapêuticos. A radiação emitida pelo Laser terapêutico provoca no corpo humano três tipos de efeitos (Teixeira, 2000):

Efeitos primários ou directos – bioquímico, bioeléctrico e bioenergético

Efeitos indirectos - estimula a microcirculação e bioestímulo do tropismo celular

Efeitos terapêutico geral - anti-álgico, anti-inflamatório, anti-edematoso e normalizador metabólico e bioestimulante do trofismo celular.

Em Laserterapia, existem dois postulados que regem a aplicação de fontes energéticas.

Segundo Schulze-Arndt (citado em Teixeira, 2000), “as energias de curta duração ou pequenas estimulam o sistema parassimpático, as de maior duração ou maiores estimulam o sistema simpático, enquanto as de maior duração ou muito altas energias inibem ou paralisam ambos os sistemas”.

Segundo Rickar (citado em Teixeira, 2000), no campo da circulação “as energias baixas ou de pouca duração ocasionam uma vasodilatação, as energias medianas ou de média duração provocam uma vasoconstrição, sobretudo por espasmo dos vasos que se encontram junto à área a ser tratada”.

Os Lasers com maior potência são usados com fins cirúrgicos. Os efeitos característicos dos raios de Laser cirúrgico são (Teixeira, 2000):

1º Térmico - a energia é transformada, por fenómenos de fluorescência e efeitos fotoquímicos em energia térmica.

2º Desidratação local – devido ao efeito térmico, com uma marcada contracção dos tecidos.

3º Coagulação – se a energia emitida provocar um aumento de temperatura entre 42º e 70ºC, produz desnutrição proteica, originando a coagulação do tecido.

4º Vaporização dos tecidos – ocorre quando se diminui o intervalo de tempo necessário para obter uma determinada temperatura do tecido a irradiar.

5º Carbonização dos tecidos a irradiar – ocorre quando a temperatura local ultrapassa, instantaneamente, os 100ºC.

O efeito fotoquímico normalmente não é detectado porque o efeito térmico o mascara. Quando se usam potências baixas e exposições longas, pode observar-se o eritema cutâneo característico, devido a este efeito.

ANEXO – C

RADIOPROTECÇÃO

A Protecção Contra as Radiações consiste num conjunto de medidas tomadas para proteger o Homem e o seu Meio Ambiente dos efeitos nocivos de todas as formas de radiação, permitindo ao mesmo tempo maximizar as suas aplicações benéficas (Sociedade Portuguesa de Protecção Contra as Radiações, SPPCR).

A relação de causalidade entre as radiações e os seus efeitos só foi feita no final do século XIX. Contudo, a história da Protecção Contra Radiações começou a ser escrita no princípio do século XV em Erzgebirge. Os mineiros que trabalhavam numa mina local adoeciam com uma doença terrível chamada "*Bergsucht*" que afectava os pulmões, provocando a morte num curto intervalo de tempo.

No princípio do século XVI, o médico alemão responsável pelas minas, Georg Bauer (conhecido como "*Agricola*") desenvolveu métodos eficazes para minimizar a doença. No seu livro "*De re metallica*", recomendou a ventilação dos locais de trabalho no subsolo e a

utilização de máscaras. Hoje em dia sabe-se que "*Bergsucht*" era um tipo de cancro do pulmão provocado pela inalação dos descendentes do radão.

No final do século XIX e no princípio do século XX, após a descoberta de Roentgen dos raios X, sucederam-se em todo o mundo as mais diversas aplicações dos raios X e de substâncias radiactivas. Contudo, a ignorância sobre os cuidados a ter, aliada ao seu uso indiscriminado causou, nestes tempos, lesões gravíssimas na pele e nos órgãos hematopéticos. A situação tornou-se especialmente grave durante a guerra dado o seu uso intensivo, usando equipamento rudimentar. Em face dos inúmeros casos de lesões que surgiram sentiu-se a necessidade de definir regras para o uso das Radiações.

Em 1913, o "*Deutsche Roentgen Gesellschaft*", publica pela primeira vez recomendações para procurar prevenir lesões. Em 1921, a "*British Roentgen Society*", formou uma "Comissão de Protecção de Raios X e Rádio" publicando em Julho de 1921 um relatório preliminar e em Dezembro do mesmo ano um "*Memorandum*".

Após o "1º Congresso Internacional de Radiologia", que se realizou, em Londres, em 1925, nasceram dois organismos internacionais a "*International Commission on Radiological Protection*" (ICRP) (em português, Comissão Internacional de Protecção Radiológica, CIPR) e a "*International Commission on Radiation Units and Measurements*" (ICRU) (em português, Comissão Internacional das Unidades e Medidas Radiológicas) que definem as grandezas de medida da radiação e as suas unidades e estabelecem os limites máximos permissíveis de dose para os que trabalham com radiação e para o público em geral.

As suas primeiras recomendações foram promulgadas em 1934. Actualmente, as recomendações da CIPR inspiram as regulamentações nacionais de todos os países, bem como as da Comunidade Europeia (Euratom).

C.1 – OS PRINCÍPIOS DA REGULAMENTAÇÃO

Enquanto os cientistas só se preocuparam com os efeitos agudos, a estratégia de protecção era simples: se a radiação recebida fosse mantida abaixo dos níveis de aparecimento dos efeitos não estocásticos, o perigo era considerado nulo. Sabe-se hoje que as radiações também podem dar origem a efeitos estocásticos, existindo, portanto, um risco aleatório a longo prazo que não pode ser completamente eliminado. A actual estratégia, defendida pelas instâncias internacionais de radioprotecção, baseia-se em três princípios: justificar, optimizar e limitar.

Princípio da Justificação – Embora não tenha sido provado, admite-se, por prudência, que toda a irradiação pode acarretar um certo risco. Assim, deve ser suprimida toda a exposição inútil. Deste modo, as doses de irradiação só devem ser aumentadas se os benefícios para os indivíduos expostos ou para a sociedade ultrapassarem os riscos eventuais. Esta avaliação inclui os efeitos das radiações propriamente ditos, assim como as considerações económicas e sociais.

Princípio da Optimização – Deve ter-se o cuidado de reduzir, razoavelmente, as doses, tendo em conta aspectos económicos e sociais. Ou seja, o princípio de optimização pretende que se obtenha o benefício procurando ao mesmo tempo diminuir, tanto quanto possível, os riscos. É esse o espírito que resume o acrónimo ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). A palavra “razoavelmente” lembra que é necessário ter em conta os factores sociais e económicos na busca do óptimo. Segundo este princípio, a sobreprotecção de uma actividade humana, seja ela qual for, não deve incorrer em gastos exagerados que poderiam ser utilizados a reforçar a segurança de outra actividade subprotegida.

Princípio da Limitação - impõe a limitação das doses individuais. Tem por função definir regras objectivas, fixar doses limites que não deverão ser ultrapassadas por cada indivíduo, em função do trabalho que exercer. Essas doses limites são calculadas com factores de segurança elevados.

C.2 – GRANDEZAS E UNIDADES

A unidade de que os físicos das partículas utilizam, vulgarmente, para calcular a energia é o *electrão-volt* (eV) - energia cinética adquirida por um electrão ao atravessar uma diferença de potencial de 1V, no vazio (de Almeida, 1997). Um electrão-volt equivale a $1,6 \times 10^{-19}$ J.

C.2.1 – GRANDEZAS E UNIDADES RELATIVAS ÀS REACÇÕES NUCLEARES E ÀS RADIAÇÕES IONIZANTES

1- Grandezas e unidades importantes para avaliar os efeitos de uma fonte radiactiva

Constante de desintegração (λ)

Embora não se possa prever o momento em que um determinado núcleo, de uma fonte radiactiva, se vai desintegrar, pode calcular-se rigorosamente a probabilidade por unidade de tempo que o núcleo tem de se desintegrar. A lei de decaimento é do tipo exponencial decrescente.

O decaimento exponencial ou seja a probabilidade de desintegração por unidade de tempo, pode ser representada do seguinte modo

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde N_0 é o número de átomos inicialmente presentes, numa fonte radiactiva, N o número de átomos que ainda não se desintegraram após um intervalo de tempo t e e é a base dos logaritmos naturais ou neperianos.

Cada radioisótopo possui uma constante de desintegração, λ .

Período de semidesintegração ($T_{1/2}$)

Para cada modelo de desintegração possível, mede-se um período de semidesintegração (ou semi-vida) $T_{1/2}$ que é o tempo ao fim do qual um dado núcleo tem uma hipótese em duas de se transmutar num outro núcleo. Este período depende apenas do núcleo inicial e é independente do ambiente físico ou químico do núcleo ou da idade deste.

Assim, após $T_{1/2}$, em média, metade dos núcleos já se terá desintegrado. Podemos agora escrever outra expressão para o número, N , de átomos radiactivos que ainda não se desintegraram após um intervalo de tempo t ,

$$N = \frac{N_0}{2^{t/T_{1/2}}} \quad (2)$$

Relação entre a constante de desintegração e o período de semidesintegração

Atendendo a que, para $t = T_{1/2}$, $N = N_0/2$, e utilizando a expressão 1 obtém-se

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (3)$$

Tempo de vida média (τ)

τ representa a vida média de um elemento radiactivo e determina-se dividindo a soma das idades de todos os átomos pelo número total de átomos.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,44 \times T_{1/2} \quad (4)$$

Nota- $1/\ln 2 = 1,44$

Actividade (A)

Quando se estuda o impacto de uma fonte radioactiva no ambiente, é importante conhecer o número de desintegrações dos núcleos dos seus átomos constituintes, por unidade de tempo, isto é, a velocidade de desintegração dos átomos. É a actividade da fonte:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (5)$$

É tanto maior quanto mais numerosa for a população e mais curto o período de semidesintegração.

Relação entre actividade e constante de desintegração

A actividade A de uma amostra radioactiva num dado instante pode ser expressa do seguinte modo

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N = \frac{0,693}{T_{1/2}} N \quad (6)$$

A actividade de uma substância diminui como a população sobrevivente, quer dizer de um factor dois para cada período $T_{1/2}$ decorrido. A actividade de uma mesma massa de radioisótopo é tanto mais fraca quanto mais longo for o período.

A unidade da constante de desintegração λ e da actividade A é a mesma, becquerel, Bq (i.e., s^{-1}).

Como o becquerel é uma unidade pequena utilizam-se frequentemente os seus múltiplos ou unidades antigas.

O curie (Ci), é igual a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo. Portanto $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$. A actividade de um grama de rádio-226 é aproximadamente igual a 1 Ci; historicamente, o Curie era definido deste modo.

Em 1975, a Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas (ICRU) recomendou o uso do becquerel (Bq) como unidade de actividade, no Sistema Internacional de Unidades. Esta unidade substitui desde 1986 o curie (Ci). Na prática, o becquerel tem tido pouca utilização, visto ser pouco cómodo devido à sua pequenez.

Actividade mássica (a)

A *actividade mássica* também chamada, impropriamente, *actividade específica*, é a actividade por unidade de massa.

$$a = \frac{A}{m}$$

A massa correspondente a um curie é de 3 ton para o urânio-238, de 16,2 g para o plutónio-239, de 1g para o rádio-226 e de 0,00088 g para o cobalto-60. Todas estas massas apresentam uma actividade de 1 Ci ou 37 GBq.

2- Grandezas e unidades importantes para avaliar os efeitos que a matéria tem na radiação

Dose de exposição à radiação (X)

Os raios X ou gama, ao interagirem com os átomos de um meio, produzem electrões ou pares electrão-positrão. A *exposição*, X, é uma grandeza física definida para estas radiações, tendo o ar como meio de interacção. Essa grandeza é dada pelo quociente

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

onde ΔQ é a soma das cargas eléctricas de todos os iões com o mesmo sinal, produzidos no ar, quando todos os electrões e positrões libertados pelos fotões da radiação X ou gama, num elemento de volume de ar cuja massa é Δm , são completamente parados no ar.

A unidade de exposição é o coulomb por quilograma. Utiliza-se também, fora do SI, o röntgen (R), sendo $1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$.

Uma vez que a *exposição* é definida em termos de ionização das partículas do ar, esta grandeza não é adequada para descrever a energia de qualquer tipo de radiação absorvida por qualquer tipo de meio.

Dose de radiação absorvida (D)

A amplitude dos efeitos, de uma irradiação, depende da quantidade de energia depositada na matéria. A *dose absorvida* quantifica a energia da radiação que é absorvida por massa do absorvedor que é designada por.

$$D = \frac{E}{m}$$

A unidade oficial de dose absorvida recomendada pela ICRU de 1950 a 1975 foi o rad (*radiation absorbed dose*).

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1}$$

O rad foi definido de tal forma que uma exposição, à radiação X ou gama, de 1R resultasse numa dose absorvida pelo tecido mole ou água de aproximadamente 1 rad, isto é, a razão

$$\frac{rad}{R} = 1 ,$$

independentemente da energia da radiação. Mas esta relação não é válida para todos os meios.

Em 1975, a ICRU adoptou para a unidade de dose absorvida o gray (Gy) no Sistema Internacional de Unidades.

O gray (Gy) corresponde a um joule de energia depositada por quilograma de matéria. Esta unidade ignora o tipo de partícula que interacciona e a natureza e a organização da matéria perturbada. (1 Gy = 1 J.kg⁻¹ = 100 rad).

Relação entre dose absorvida e dose de exposição

A relação entre a dose absorvida e a dose de exposição é

$$D = f X ,$$

onde f é o factor de conversão de röntgen para rad.

Como referimos anteriormente, o factor-f é perto de 1 para tecidos moles; contudo, para os ossos, esse factor-f vale aproximadamente 4, para a radiação X de baixa energia usada em radiologia de diagnóstico, isto é, uma exposição de 1R corresponde a uma dose absorvida pelo osso de 4 rad; para energias superiores a 300 keV, o factor-f é aproximadamente igual a 1.

Dose de radiação equivalente absorvida (H)

A descrição dos efeitos biológicos a longo prazo da radioactividade exige uma avaliação mais precisa dos danos e, nomeadamente, levar em conta a natureza da radiação e a dos tecidos irradiados. Utiliza-se para isso um coeficiente de ponderação para a radiação e um outro coeficiente para os tecidos. Estes permitem traduzir um depósito de energia num tecido biológico. Obtém-se assim uma dose equivalente, cuja unidade de medida é o sievert (Sv) (Dowsett *et al.*, 1998). Uma dose de um sievert corresponde, por definição, a uma dose absorvida de um gray, depositada por fotões ou electrões sobre o corpo inteiro.

Assim a grandeza dose equivalente H, é definida como o produto da dose absorvida D pelo factor de qualidade Q e pelos factores de modificação N.

$$H = D Q N$$

onde Q e N são adimensionais.

O factor de qualidade Q (coeficiente de ponderação ou eficácia biológica) reflecte o poder patogénico de uma radiação e leva em conta que a radiação que produz maior número de ionizações no tecido, por unidade de comprimento, causa mais danos biológicos do que aquela que produz menor número de ionizações por unidade de comprimento (ver NOTA 1). No primeiro caso estão, por exemplo, partículas alfa, fragmentos de fissão, e no segundo, a radiação X, γ e β . Conforme se pode ver na tabela C.1.

Tabela C.1 - Factores de qualidade para diferentes tipos de radiação (Okuno, 1986)

Tipo de radiação	Factor de qualidade
Radiação X, γ e β .	1
Neutrões térmicos e protões	10
Neutrões de alta energia, partículas alfa e partículas de carga superior a 1 (ver NOTA 2)	20

N é o produto de todos os outros factores de modificação, especificados pela CIPR, que se relacionam também com o número de ionizações produzido no tecido por unidade de comprimento, além do seu valor depender do meio onde ocorre a ionização. A obtenção do valor de N para cada caso é muito complicada, e a CIPR fixou seu valor em 1, até que se encontre uma forma mais apropriada para esse cálculo.

A unidade de dose equivalente, adoptada pela ICRU até 1975, foi o rem (*röntgen equivalent man*, em português *equivalente biológico de röntgen*).

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \cdot Q \cdot N$$

Para fotões $Q=N=1$ e portanto $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad}$.

Em 1975, a unidade adoptada pela ICRU passou a ser o sievert (Sv) no Sistema Internacional.

$$1 \text{ sievert} = 1 \text{ gray} \cdot Q \cdot N$$

Para fotões $Q=N=1$ e portanto $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$

A relação entre o sievert e o rem é $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Esta unidade utiliza-se sistematicamente quando estamos perante doses fracas de radiações diversas que incidem sobre todo o corpo. É o caso da radiação natural. É também em sievert que se devem medir os riscos que a radiação artificial acrescenta. Para uma radiação incidente X ou gama o valor da dose absorvida, pelo tecido mole, é praticamente

igual ao valor da exposição. Portanto, para as fontes artificiais de maior uso, o röntgen, o gray e o sievert possuem praticamente os mesmos valores.

Assim nas irradiações médicas com raios X, γ ou β , tem-se geralmente $1\text{Sv} = 1\text{Gy}$.

Uma vez que a susceptibilidade dos tecidos à radiação não é igual, a CIPR introduziu uma nova categoria de medida da radiação, a *dose eficaz*. Com a utilização desta grandeza é possível comparar o risco que advém da radiação não uniforme e uniforme do corpo. A dose eficaz é a soma ponderada das doses equivalentes em diversos órgãos (Orden e Gonzalo-Orden, 1994). Os valores de ponderação para cada órgão estão definidos (DR nº 9/90) tendo em conta o risco da radiação no órgão em causa. A unidade de dose efectiva também é o Sv.

Quando se quer considerar as diferenças de radiosensibilidade dos diversos tecidos, utilizam-se coeficientes de ponderação dos tecidos W_T (ver tabela C.2), que permitem calcular uma dose eficaz, E , através da fórmula:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

Esta dose exprime-se também em sievert.

Tabela C.2 – Coeficientes de ponderação dos tecidos (Dec. Reg. 9/90)

Coeficiente W_T	Órgão
0,25	Gónadas
0,12	Tecidos mais radiosensíveis : medula óssea vermelha, pulmão
0,03	Osso (superfícies ósseas) e tiróide
0,30	Resto do corpo

NOTA:

1- Por vezes em vez de se referir o número de ionizações por unidade de comprimento refere-se a *transferência linear de energia* (LET) que representa a energia absorvida pelo meio por unidade de distância atravessada (keV/mm). A radiação com LET elevado é mais eficaz a produzir danos biológicos do que a radiação com LET mais baixo.

O factor de qualidade depende do valor do LET: para fontes de LET baixo (electrões, partículas beta, radiação X e gama) $QF=1$, para fontes de LET elevado (protões, neutrões, partículas alfa) QF pode ir até 20.

2- Os neutrões emitidos nas reacções nucleares ou provenientes das cisões designam-se de rápidos quando a sua energia cinética é da ordem do MeV; chamam-se térmicos quando, depois de terem percorrido um percurso suficiente, perderam a sua energia cinética e ficam apenas com uma energia igual à energia térmica dos corpos à temperatura ambiente, ou seja, 0,025 eV. Existem, evidentemente, neutrões com energias intermédias, mas estes dois extremos são os que têm os papéis mais importantes.

A tabela C.3 apresenta um resumo das grandezas e unidades relativas às reacções nucleares e às radiações ionizantes.

Tabela C.3 - Grandezas e unidades relativas às reacções nucleares e às radiações ionizantes

FONTE

GRANDEZA			UNIDADE SI		OUTRAS UNIDADES		
Nome	Símb.	Def. sumária	Nome	Símb.	Nome	Símb.	Conversão
Actividade (de uma fonte radiactiva)	A	$A = -\frac{dN}{dt}$	becquerel	Bq	curie rutherford	Ci Rd	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Actividade mássica (de uma fonte radiactiva)	a	$a = \frac{A}{m}$	becquerel por quilograma	Bq.kg ⁻¹			
Constante de desintegração	λ	$\lambda = \frac{A}{N}$	becquerel	Bq			
Período de semidesintegração ou semi-vida	$T_{1/2}, t_{1/2}$	$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	segundo	s			
Tempo de vida média ou vida média	τ	$\tau = \frac{1}{\lambda}$	segundo	s			

RECEPTOR

GRANDEZA			UNIDADE SI		OUTRAS UNIDADES		
Nome	Símb.	Def. sumária	Nome	Símb.	Nome	Símb.	Conversão
Dose de radiação absorvida	D	$D = \frac{E}{m}$	gray	Gy	rad	rad ou rd	1 rad = 10^{-2} Gy
Dose de radiação equivalente absorvida	H	$H = D \cdot Q \cdot N$	sievert	Sv	rem	rem	1 rem = 10^{-2} Sv
Dose de exposição à radiação X ou γ			Coulomb por quilograma	C.kg ⁻¹	röntgen	R	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C.kg ⁻¹

C.2.2 – GRANDEZAS E UNIDADES RELATIVAS A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS ATÉ 300 GHZ

Segundo a Portaria n.º 1421/2004 de 23 de Novembro, no contexto da exposição a campos electromagnéticos até 300 GHz, utilizam-se habitualmente oito grandezas físicas para estabelecer os limites de exposição:

Corrente de contacto (I)

Atendendo a que um objecto condutor colocado num campo eléctrico pode ser carregado pelo campo, pode estabelecer-se uma corrente de contacto entre uma pessoa e um objecto. Esta corrente de contacto é expressa em ampere (A).

Densidade da corrente (J)

Define-se como sendo a corrente que flui através de uma secção de área unitária perpendicular à sua direcção num volume condutor, tal como o corpo humano ou parte deste. É expressa em ampere por metro quadrado (A.m⁻²).

$$J = \frac{I}{S}$$

Intensidade do campo eléctrico (E)

Corresponde à força exercida sobre uma partícula carregada, independentemente do seu movimento no espaço. É expressa em volt por metro (V.m⁻¹).

$$E = \frac{F}{Q}$$

Intensidade do campo magnético (H)

$$rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

Sendo \vec{D} a indução eléctrica e \vec{J} a densidade de corrente eléctrica.

Juntamente com a densidade do fluxo magnético, especifica um campo magnético em qualquer ponto do espaço. É expressa em ampere por metro (A.m⁻¹).

Densidade do fluxo magnético ou indução magnética (B)

A força magnética, \vec{F} , que actua sobre um segmento Δl de um fio condutor percorrido por uma corrente eléctrica estacionária de intensidade I , quando colocado num campo uniforme do vector indução magnética \vec{B} , é:

$$\vec{F} = I\Delta\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Sendo $\Delta\vec{l}$ um vector ao longo do segmento do fio condutor, orientado no sentido convencional da corrente e de norma igual ao comprimento do segmento do fio.

$$B = \frac{F}{I\Delta l \sin \alpha}$$

α é o ângulo formado por $I\Delta\vec{l}$ e \vec{B} .

É expressa em tesla (T). No espaço livre e em materiais biológicos, a densidade do fluxo magnético e a intensidade do campo magnético podem ser intercambiáveis.

Densidade de potência (S)

É a potência radiante que incide perpendicularmente a uma superfície, dividida pela área da superfície, e é expressa em watt por metro quadrado (W.m^{-2}). É utilizada para frequências muito elevadas, onde a profundidade de penetração no corpo é baixa.

Absorção específica de energia (SA)

É a energia absorvida por unidade de massa de tecido biológico, expressa em joule por quilograma (J.kg^{-1}). É utilizada para limitar os efeitos não térmicos, resultantes da radiação de microondas constituídas por impulsos;

Taxa de absorção específica de energia (SAR).

É o ritmo a que a energia é absorvida por unidade de massa de tecido biológico e é expressa em watt por quilograma (W.kg^{-1}). A SAR relativa a todo o corpo é uma medida usada para relacionar os efeitos térmicos nocivos com a exposição às RF.

C.2.3 – GRANDEZAS E UNIDADES RELATIVAS A RADIAÇÕES ÓPTICAS

As grandezas (radiométricas) e as unidades usadas na região óptica do espectro electromagnético são unificadas pelo Sistema Internacional (*Système Internationale d'Unités*, SI). A Comissão Internacional em Iluminação (*Commission Internationale de l'Eclairage*, CIE) juntamente com a Comissão Internacional de Electrotécnica (*International Electrotechnical Commission*, IEC) publica um vocabulário unificado de terminologia de iluminação que inclui definições radiométricas e de condições fotométricas, quantidades, e unidades (CIE, 1987) que são usadas em alguns documentos oficiais (IRPA/INIRC, 1993). Algumas dessas grandezas e unidades são usadas vulgarmente quando se especifica limites de exposição para a protecção da saúde dos trabalhadores. Na tabela C.4 são apresentadas em detalhes essas grandezas e respectivas unidades, indicando-se ao mesmo tempo, sempre que possível, a sua designação segundo o SI.

Tabela C.4 - Grandezas e unidades CIE relativas às radiações electromagnéticas.(Adaptado de IRPA/INIRC, 1993)

Nome	Símbolo	Definição sumária	Unidade SI (nome e símbolo)
Energia radiante “Radiant Energy”	Q_e	$Q_e = \int \Phi_e dt$	joule (J)
Densidade de energia radiante “Radiant energy density”	W_e	$W_e = \frac{dQ_e}{dV}$	joule por metro cúbico (J.m ⁻³)
Fluxo energético (ou potência radiante) “Radiant flux”	Φ_e, P	$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$	watt (W)
“Radiant exitance”	M_e	$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA}$ $= \int L_e \cos\theta \cdot d\Omega$	watt por metro quadrado (W.m ⁻²)
Densidade de fluxo energético “Irradiance”	E_e	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}$	watt por metro quadrado (W.m ⁻²)
Intensidade energética “Radiant intensity”	I_e	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	watt por esterradiano (W.sr ⁻¹)
Luminância energética “Radiance”	L_e	$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}$	watt por esterradiano por metro quadrado (W.sr ⁻¹ .m ⁻²)
Exposição energética “Radiant exposure” (dose em fotobiologia)	H_e	$H_e = \frac{dQ_e}{dA} = \int E_e$	joule por metro quadrado (J.m ⁻²)
Eficácia energética (da fonte) “Radiant efficiency”	η_e	$\eta_e = \frac{P}{P_i}$	
Densidade óptica	D_e	$D_e = -\log_{10}(\tau_e)$	

Para a radiação ultravioleta utiliza-se, vulgarmente, a irradiância eficaz para definir os limites de exposição.

Para determinar a irradiância eficaz, de uma fonte de banda larga, em relação ao pico da curva de eficácia espectral (270 nm), deve usar-se a seguinte formula:

$$E_{ef} = \sum E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

onde:

E_{ef} = Irradiância eficaz em $W.cm^{-2}$ ($J.s^{-1}.cm^{-2}$) normalizada para uma fonte monocromática a 270 nm

E_{λ} = Irradiância espectral em $W.cm^{-2}.nm^{-1}$

S_{λ} = Eficácia espectral relativa (adimensional).

$\Delta\lambda$ = Largura da banda, em nanómetros, para intervalos calculados ou medidos.

O tempo de exposição permissível, em segundos, para a exposição a radiações da gama UV-actínico, de pele ou olhos desprotegidos, pode ser determinado dividindo $3.0mJ.cm^{-2}$ pela E_{ef} em $W.cm^{-2}$.

C.3 – LIMITES

RADIAÇÃO IONIZANTE

Os limites que foram definidas para os trabalhadores que são expostos às radiações ionizantes são diferentes dos definidos para a restante população; para esta última, os limites são dez vezes menores que para os primeiros. Esta diferença deve-se a que os trabalhadores expostos às radiações ionizantes são vigiados medicamente e as doses que recebem são contabilizadas durante toda a sua vida profissional. Inversamente, a população não é vigiada e, sobretudo, compreende sujeitos mais vulneráveis, nomeadamente as mulheres grávidas e as crianças pequenas.

Os limites individuais encontram-se resumidos na tabela C.5. Distinguem-se, nesta, três categorias de sujeitos:

Categoria A (pessoal DATR, isto é, «directamente afectado em trabalhos sob radiações ionizantes»). – Trabalha habitualmente em locais onde é possível ser irradiado mais do que 15mSv/ano (irradiação global).

Categoria B (não DATR). – São os trabalhadores que não deveriam, a não ser em caso de acidente, receber mais de 15 mSv/ano (aprendizes, estudantes, estagiários com idade entre os 16 e os 18 anos).

Tabela C.5- Doses equivalentes limites para a irradiação de pessoas

Categorias	Irradiação	Dose equivalente máxima acumulada	
		Directiva 96/29/EURATOM	Dec. Reg. 9/90
Trabalhadores Categoria A	Global	100 mSv por um período de 5 anos, não podendo ultrapassar 50 mSv/ano	50 mSv/ano (5 rem/ano)
	Parcial Cristalino	500 mSv/ano 150 mSv/ano	500 mSv/ano 150 mSv/ano
Trabalhadores Categoria B	Global		15 mSv/ano
	Parcial		3/10 valores para trab. de cat. A
Público	Global	1mSv/ano (até 5mSv num ano desde que a média em 5 anos não exceda 1mSv/ano)	5 mSv/ano (0,5 rem/ano)
	Parcial		1/10 valores para trab. de cat. A

Estes limites não levam em linha de conta nem a irradiação natural nem a irradiação média.

O caso das mulheres grávidas é tratado à parte da restante população.

As mulheres em idade de procriar não devem ser expostas a mais de 0,013 Sv (1,3rem) durante três meses consecutivos. Em caso de gravidez, a dose não deve ultrapassar 0,01 Sv (1rem) a partir do momento em que a gravidez é conhecida, para proteger o embrião.

Irradiação média. – Em caso de irradiação por um radionuclido que não tenha penetrado no organismo, a dose não é medida mas pode ser calculada se se conhecerem as características do radioisótopo (período físico, período biológico, radiações emitidas) e a sua concentração no tecido considerado.

Se houver contaminação com um radioisótopo, o cálculo é feito usando tabelas com as características do metabolismo de cada um dos elementos, nos tecidos humanos.

Limites anuais de incorporação de um radioisótopo (LAI). – A partir das tabelas anteriormente referidas, é fácil calcular a quantidade de radioisótopo que, inalado ou ingerido, dá, num ano, uma dose igual à dose máxima admissível. A tabela C.6 indica os LAI de alguns radioisótopos.

Tabela C.6 - Exemplos de limites anuais de incorporação para a população (em becquerel) (Tuniana & Bertin, 1990)

	Iodo 131	Césio 137	Estrôncio	Ruténio 106
Por inalação	200 000	600 000	10 000	70 300
Por ingestão	100 000	400 000	2 000 000	35 520

RADIAÇÕES NÃO-IONIZANTES

Ondas de Radiofrequência

A Portaria n.º 1421/2004 de 23 de Novembro define as restrições básicas relativamente à exposição da população a campos electromagnéticos, de modo a proteger a “saúde pública contra os comprovados efeitos adversos da exposição a campos electromagnéticos” (Tabela C.7).

Tabela C.7- Restrições básicas para campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz-300 GHz) (Portaria n.º 1421/2004)

Gama de freq.	B (mT)	J (mA.m ⁻²)	SAR média (corpo) (W.kg ⁻¹)	SAR local (cabeça e tronco) (W.kg ⁻¹)	SAR local (membros) (W.kg ⁻¹)	S (W.m ⁻²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0 Hz - 1Hz	—	8	—	—	—	—
1Hz - 4Hz	—	8/f	—	—	—	—
4 Hz -1000 Hz	—	2	—	—	—	—
1000 Hz -100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz -10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz -10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10 GHz -300 GHz	—	—	—	—	—	10

Radiação Ultravioleta

O limite de exposição ocupacional para radiação ultravioleta do NHMRC (*National Health and Medical Research Council*, (1986)) baseava-se nas recomendações da IRPA/INIRC (*International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association*, 1985).

Em, 1989 o IRPA/INIRC propôs alterações às recomendações originais. Estas mudanças levaram à revisão do limite de NHMRC sendo o limite anterior rescindido.

Os limites de exposição (LE) referem-se à radiação ultravioleta na região espectral entre 180 e 400 nm e representam as condições em que se acredita que os trabalhadores podem ser expostos repetidamente sem efeitos adversos. Os valores de LE para exposição do olho ou da pele podem ser usados para avaliar exposição potencialmente perigosa de radiação UV. Os limites não se aplicam a laser ultravioletas.

Os LE para exposição geral, e ocupacional, a radiação UV na pele ou no olho, quando os valores de irradiância são conhecidos e a duração de exposição é controlada, são os seguintes:

Para a região espectral ultravioleta-próximo UV-A (315-400 nm), a exposição radiante total que incide no olho desprotegido não deve exceder $1,0 \text{ J.cm}^{-2}$ (10 kJ.m^{-2}) dentro de um período de 8h e o total da exposição radiante nas 8h que incide na pele desprotegida não deve exceder os valores tabelados.

Para a região espectral do UV-actínico (UV-C e UV-B de 180-315 nm), a exposição radiante que incide na pele desprotegida ou no olho dentro de um período de 8h não deve exceder os valores tabelados (NHMRC, 1989).

Radiação LASER

Existem dois conceitos importantes na protecção contra a radiação emitida por lasers: a exposição máxima permitida e o limite de emissão admissível.

A *exposição máxima permitida* (EMP) representa o nível máximo de raio Laser ao qual as pessoas podem estar expostas sem sofrer qualquer dano imediato ou a médio prazo. A tabela C.8 resume o EMP para diferentes Lasers.

A exposição à radiação LASER deve ser sempre o mais baixa possível e inferior ao EMP.

Outra noção importante relaciona-se com os riscos causados pela sua utilização, pelo que foi introduzida uma classificação dos Lasers em função de um limite de emissão acessível.

Assim, o *limite de emissão admissível* (ELA) define o nível de radiação Laser admissível durante o seu funcionamento, a sua regulação ou manutenção, e está directamente relacionado com o comprimento de onda, a energia, as características da emissão, se é pulsada, superpulsada ou ultrapulsada.

Tabela C.8 – Exposições Máximas Permitidas para diferentes tipos de laser (Adaptado de Teixeira, 2000)

LASER	MODOS DE FUNCIONAMENTO		EMP para o OLHO (Exposição directa)	EMP para a PELE
HeNe	Contínuo $t = 0,25$ s		25 W.m^{-2}	$3 \times 10^4 \text{ W.m}^{-2}$
CO ₂	Contínuo $t \leq 0,25$ s		1000 W.m^{-2}	1000 W.m^{-2}
YAG	Impulsão Única	$t = 10$ ns	$5 \times 10^{-2} \text{ J.m}^{-2}$	1000 J.m^{-2}
		$t = 10$ μ s	$5 \times 10^{-2} \text{ J.m}^{-2}$	$3 \times 10^3 \text{ J.m}^{-2}$
		$t = 10$ ms	90 J.m^{-2}	$3 \times 10^3 \text{ J.m}^{-2}$
EXCIMER	Impulsão	$t = 10$ ns	30 J.m^{-2}	30 J.m^{-2}
ArF, KrF	Única	$t = 40$ ns	30 J.m^{-2}	30 J.m^{-2}
EXCIMER XeCl	Impulsão	$t = 10$ ns	56 J.m^{-2}	56 J.m^{-2}
	Única	$t = 40$ ns	79 J.m^{-2}	79 J.m^{-2}

C.4 – LEGISLAÇÃO

É apresentada, a seguir, alguma legislação Nacional e Comunitária sobre radiações com interesse para este assunto.

C.4.1 – LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

Radiações Ionizantes e substâncias radiativas

Resolução do Conselho de Ministros n.º 129/2004 de 14-09-2004

Cria um grupo de trabalho para a elaboração do Plano Nacional de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear.

Decreto-Lei n.º 124-A/2004 de 26-05-2004

Aprova o Regulamento Nacional do Transporte de Mercadorias Perigosas por Caminho de Ferro.

Resolução da Assembleia da República n.º 72/2003 de 12-09-2003

Aprova, para ratificação, a Convenção sobre Assistência em Caso de Acidente Nuclear ou Emergência Radiológica, adoptada pela Conferência Geral da Agência Internacional de Energia Atómica, no âmbito das Nações Unidas, assinada em 26 de Setembro de 1986.

Despacho n.º 258/2003 de 08-01-2003

Manual de boas práticas que define as regras e os processos de garantia de qualidade das unidades de saúde privadas que utilizem, com fins de diagnóstico, terapêutica e de prevenção, radiações ionizantes, ultra-sons ou campos magnéticos.

Resolução da Assembleia da República n.º 65/2001 de 23-10-2001

Aprova, para ratificação, a Convenção n.º 176 da Organização Internacional do Trabalho, relativa à segurança e saúde nas minas, adoptada pela Conferência Geral da Organização Internacional do Trabalho, em Genebra, em 22 de Junho de 1995.

Decreto-Lei n.º 222/2001 de 08-08-2001

Altera o Regulamento para a Notificação de Substâncias Químicas e para a Classificação, Embalagens e Rotulagem de Substâncias Perigosas.

Decreto-Lei n.º 164/2001 de 23-05-2001

Aprova o regime jurídico da prevenção e controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 96/82/CE, do Conselho, de 9 de Dezembro.

Resolução da Assembleia da República n.º 34/2001 de 02-05-2001

Recomendar ao Governo medidas concretas para resolver o problema da radioactividade nos resíduos e nas minas de urânio abandonadas nos distritos de Coimbra, Guarda e de Viseu, nomeadamente adoptando soluções concretas no perímetro das minas da Urgeiriça.

Resolução da Assembleia da República n.º 26/2001 de 03-04-2001

Aprova, para ratificação, o Protocolo Adicional ao Acordo entre a República Portuguesa, a Comunidade Europeia da Energia Atómica e a Agência Internacional da Energia Atómica, em aplicação do artigo III, nºs 1 a 4, do Tratado de não Proliferação das Armas.

Despacho n.º 22652/2000 de 9-11-2000

Formaliza a constituição e nomeia os membros das comissões de verificação técnica (CVT) criadas por força do art.º 10 do Decreto-lei n.º 500/99 de 19 de Novembro a constituir junto de cada administração regional de saúde (ARS), com funções e poderes de vistoria e inspecção das unidades privadas de medicina física de reabilitação, de diagnóstico, terapêutica e prevenção e de reinserção familiar e sócio-profissional.

Despacho n.º 22655/2000 de 9-11-2000

Formaliza a constituição e nomeia os membros das comissões de verificação técnica (CVT) criadas por força do art.º 10 do Decreto-Lei nº 492/99 de 17 de Novembro a constituir junto de cada administração regional de saúde (ARS), com funções e poderes

de vistoria e inspecção das unidades privadas de saúde que utilizem com fins de diagnóstico, terapêutica e prevenção, radiações ionizantes, ultra-sons ou campos magnéticos.

Despacho n.º 21714/2000 de 27-10-2000

Formaliza a constituição, define as regras de funcionamento e nomeia os elementos que integram a comissão técnica nacional (CTN) criada na dependência directa do Ministério da Saúde, por força do Decreto-Lei nº492/99 de 17 de Novembro (Regime jurídico do licenciamento e de fiscalização do exercício das actividades desenvolvidas em unidades de saúde privadas que utilizem, com fins de diagnóstico, de terapêutica e de prevenção, de radiações ionizantes, ultra-sons ou campos magnéticos).

Decreto-Lei n.º 492/99 de 17-11-1999

Aprova o regime jurídico do licenciamento e da fiscalização do exercício das actividades desenvolvidas em unidades de saúde privadas que utilizem, com fins de diagnóstico, terapêutica e de prevenção, radiações ionizantes, ultra-sons ou campos magnéticos.

Portaria n.º 423/98 de 21-07-1998

Aprova o Regulamento do Controlo Metrológico dos Instrumentos de Medição de Radiações Ionizantes.

Decreto-Lei n.º 311/98 de 14-10-1998

Estabelece normas relativas à orgânica do sector da protecção radiológica e segurança nuclear.

Resolução da Assembleia da República n.º 9/98 de 19-03-1998

Aprova, para ratificação, a Convenção sobre Segurança Nuclear, adoptada em Viena, em 17 de Junho de 1994, no âmbito da Agência Internacional da Energia Atómica.

Despacho n.º 7191/97 de 05/09/1997

Estabelece os critérios de aceitabilidade a que estão sujeitas as instalações de radiodiagnóstico e as instalações e equipamentos de radioterapia e medicina nuclear.

Decreto Regulamentar n.º 29/97 de 29-07-1997

Transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva nº 90/641/EURATOM, do Conselho, de 4 de Dezembro, e estabelece o regime de protecção dos trabalhadores de empresas externas que intervêm em zonas sujeitas a regulamentação com vista à protecção contra radiações ionizantes.

Decreto-Lei n.º 153/96 de 30-08-1996

Cria regras destinadas à protecção das pessoas e do ambiente contra os riscos derivados da utilização de fontes radioactivas seladas.

Portaria n.º 1456-A/95 de 11-12-1995

Regulamenta as prescrições mínimas de colocação e utilização da sinalização de segurança e de saúde no trabalho.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 38/95 de 21-04-1995

Plano Nacional da Política do Ambiente.

Decreto-Lei n.º 36/95 de 14-02-1995

Transpõe para o direito interno a Directiva 89/618/Euratom relativa à informação da população sobre medidas de protecção sanitária aplicáveis em caso de emergência radiológica.

Decreto-Lei n.º 390/93 de 20-11-1993

Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva nº 90/394/CEE, do Conselho, de 28 de Junho, que estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde relativas à protecção dos trabalhadores expostos a agentes cancerígenos.

Aviso n.º 35/93 de 15-02-1993

Torna público o texto em português das emendas entradas em vigor em 1 de Janeiro de 1988 e em 1 de Janeiro de 1990, relativamente aos anexos A e B do Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR).

Decreto Regulamentar n.º 34/92 de 04-12-1992

Regulamenta as actividades de prospecção, pesquisa e exploração de depósitos de minérios de urânio.

Decreto Regulamentar n.º 3/92 de 06-03-1992

Altera o Decreto Regulamentar 9/90, de 19 de Abril, que regulamenta o DL 348/89, de 12 de Outubro, sobre protecção contra radiações ionizantes.

Decreto Regulamentar n.º 9/90 de 19-04-1990

Estabelece normas por que se devem reger as acções a desenvolver na área de protecção contra radiações ionizantes.

Decreto-Lei n.º 348/89 de 12-10-1989

Adopta providências tendentes a assegurar uma protecção eficaz das pessoas expostas às radiações ionizantes.

Decreto-Lei n.º 479/85 Série I de 13-11-1985

Fixa as substâncias, os agentes e os processos industriais que comportam risco cancerígeno, efectivo ou potencial, para os trabalhadores profissionalmente expostos.

Decreto-Lei n.º 426/83 de 07-12-1983

Aprova o Regulamento de Protecção e Segurança Radiológica nas Minas e Anexos de Tratamento de Minério e de Recuperação de Urânio.

Decreto do Governo n.º 69/83 de 24-08-1983

Aprova, para ratificação, o protocolo que modifica a Convenção sobre Responsabilidade Civil no Domínio da Energia Nuclear de 29 de Julho de 1960, emendada pelo Protocolo Adicional de 28 de Janeiro de 1964.

Decreto n.º 33/77 de 11-03-1977

Convenção sobre a Responsabilidade Civil no Domínio da Energia Nuclear (Convenção de Paris de 29/07/60).

Portaria n.º 20618 de 04-06-1964

Torna obrigatório o envio à Comissão de Protecção de pessoas contra radiações ionizantes de declarações relativas a todos os aparelhos produtores de radiações ionizantes e a todos os materiais radioactivos.

Decreto-Lei n.º 45672 de 22-04-1964

Estabelece os meios de acção indispensáveis à resolução dos problemas originados pelo movimento de navios nucleares em águas territoriais portuguesas e pela sua permanência em portos portugueses do Continente e Ilhas Adjacentes.

Radiações Não Ionizantes

Portaria n.º 1421/2004 de 23-11-2004

Adopta as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população a campos electromagnéticos.

Decreto-Lei n.º 11/2003 de 18-01-2003

Regula a autorização municipal inerente à instalação das infra-estruturas de suporte das estações de radiocomunicações e respectivos acessórios definidos no Decreto-Lei n.º 151-A/2000, de 20 de Julho, e adopta mecanismos para fixação dos níveis de referência.

NORMAS

NP EN 13758-2:2004 (Ed. 1)

Têxteis Propriedades de protecção às radiações solares ultravioleta (UV). Parte 2: Classificação e marcação do vestuário.

NP EN 421:2001 (Ed. 1)

Luvas de protecção contra radiação ionizante e contaminação radioactiva (Directiva 89/686/CEE).

NP EN ISO 15004:2000 (Ed. 1)

Instrumentos oftálmicos. Requisitos fundamentais e métodos de ensaio (ISO 15004:1997).

NP EN 12254:2000 (Ed. 1)

Ecrãs para postos de trabalho com laser. Requisitos e ensaios de segurança.

NP EN 1073-1:2000 (Ed. 1)

Vestuário de protecção contra contaminação radioactiva. Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio de vestuário de protecção ventilado contra contaminação radioactiva na forma de partículas.

NP EN 208:2000 (Ed. 1)

Protecção individual dos olhos. Óculos de protecção para operações de regulação de lasers e sistemas laser (óculos de protecção para operações de regulação de laser).

NP EN 207:2000 (Ed. 1)

Protecção individual dos olhos. Filtros e protectores oculares contra as radiações laser (óculos de protecção laser) (Directiva 89/686/CEE).

NP EN 175:2000 (Ed. 1)

Protecção individual. Equipamentos de protecção dos olhos e da cara durante a soldadura e processos afins (Directiva 89/686/CEE).

NP EN 1836:1999 (Ed. 1)

Protecção individual dos olhos. Óculos solares e filtros de protecção contra as radiações solares para uso geral.

NP 2456-7:1986 (Ed. 1)

Telecomunicações. Métodos de medição aplicáveis aos emissores radioelétricos. Parte 7: Radiação proveniente de sistemas de radiotransmissão a frequências superiores a 1GHz.

NP 2456-6:1984 (Ed. 1)

Telecomunicações. Métodos de medição aplicáveis aos emissores radioelétricos.
Parte 6: Radiação proveniente de sistemas de radiotransmissão a frequências compreendidas entre 130 kHz e 1 GHz.

NP 442:1966 (Ed. 1)

Sinalização de segurança. Símbolo da radiação ionizante.

C.4.2 – LEGISLAÇÃO COMUNITÁRIA

Directiva n.º 2003/122/Euratom de 22-12-2003

Directiva 2003/122/Euratom do Conselho, de 22 de Dezembro de 2003, relativa ao controlo de fontes radioactivas seladas de actividade elevada e de fontes órfãs.

Recomendação n.º 2004/2/Euratom de 18-12-2003

Recomendação da Comissão, de 18 de Dezembro de 2003, relativa a informações normalizadas sobre as descargas radioactivas de efluentes gasosos e líquidos no ambiente provenientes de centrais nucleares e instalações fabris de reprocessamento em funcionamento.

Parecer do Comité Económico e Social n.º 2003/C 133/15 de 26-03-2003

Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre: - a "Proposta de directiva (Euratom) do Conselho que define as obrigações de base e os princípios gerais no domínio da segurança das instalações nucleares".

Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho n.º 2003/4/CE de 28-01-2003

Directiva 2003/4/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 28 de Janeiro de 2003, relativa ao acesso do público às informações sobre ambiente e que revoga a Directiva 90/313/CEE do Conselho.

Parecer do Comité Económico e Social n.º COM(2002) 130 final de 07-10-2002

Parecer do Comité Económico e Social sobre a "Proposta de Directiva do Conselho relativa ao controlo das fontes radioactivas seladas de actividade elevada".

Proposta de directiva do Conselho n.º 2002/C 151 E/25 de 25-06-2002

Proposta de directiva do Conselho relativa ao controlo das fontes radioactivas seladas de actividade elevada.

Recomendação da Comissão n.º 2001/928/EURATOM de 20-12-2001

Recomendação da Comissão, de 20 de Dezembro de 2001, relativa à protecção da população contra a exposição ao radão no abastecimento de água potável.

Recomendação da Comissão n.º 2000/473/Euratom de 08-06-2000

Relativa à aplicação do artigo 36º do Tratado Euratom respeitante ao controlo dos níveis de radioactividade no ambiente para efeitos da avaliação da exposição de toda a população.

Recomendação da Comissão n.º 1999/829/Euratom de 06-12-1999

Relativa à aplicação do artigo 37º do Tratado Euratom.

Decisão da Comissão n.º 1999/819/Euratom de 16-11-1999

Relativa à adesão da Comunidade Europeia da Energia Atómica (Euratom) à Convenção de 1994 sobre a Segurança Nuclear.

Recomendação da Comissão n.º 1999/669/CE, Euratom de 15-09-1999

Sobre um sistema de classificação dos resíduos radioactivos sólidos.

Decisão do Conselho n.º 1999/175/Euratom de 25-01-1999

Adopta um programa de investigação e formação (Euratom) no domínio da energia nuclear (1998-2002).

Alterações de 15-09-1997

Alterações aos anexos A e B da Directiva 94/55/CE do Conselho, anunciadas na Directiva 96/86/CE da Comissão que adapta ao progresso técnico a Directiva 94/55/CE do Conselho relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes ao transporte rodoviário de produtos perigosos.

Directiva do Conselho n.º 97/43/Euratom de 30-06-1997

Relativa à protecção da saúde das pessoas contra os perigos resultantes de radiações ionizantes em exposições radiológicas médicas e que revoga a Directiva 84/466/Euratom.

Directiva do Conselho n.º 96/82/CE de 09-12-1996

Relativa ao controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas.

Directiva do Conselho n.º 96/29/Euratom de 13-05-1996

Fixa as normas de segurança de base relativas à protecção sanitária da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes.

Resolução do Conselho n.º 94/C 379/01 de 19-12-1994

Sobre a gestão de resíduos radioactivos.

Regulamento do Conselho n.º 1493/93/Euratom de 08-06-1993

Sobre transferências de substâncias radioactivas entre Estados-membros.

Resolução do Conselho e dos rep. dos go n.º 93/C 138/01 de 01-02-1993

Relativa a um programa comunitário de política e acção relacionado com o ambiente e o desenvolvimento sustentável.

Directiva do Conselho n.º 92/3/Euratom de 03-02-1992

Relativo à fiscalização e ao controlo das transferências de resíduos radioactivos entre Estados-membros e para dentro e fora da Comunidade.

Recomendação da Comissão n.º 91/444/Euratom de 26-07-1991

Relativa à aplicação do terceiro e do quarto parágrafo do artigo 33º do Tratado Euratom.

Directiva do Conselho n.º 90/641/Euratom de 04-12-1990

Relativa à protecção dos trabalhadores externos sujeitos ao risco de radiações ionizantes durante a intervenção numa zona controlada.

Recomendação da Comissão n.º 90/143/Euratom de 21-02-1990

Relativa à protecção da população contra a exposição interior ao radão.

Directiva do Conselho n.º 89/618/Euratom de 27-11-1989

Relativa à informação da população sobre as medidas de protecção sanitária aplicáveis e sobre o comportamento a adoptar em caso de emergência radiológica.

Regulamento da Comissão n.º 944/89/Euratom de 12-04-1989

Que fixa os níveis máximos tolerados de contaminação radioactiva dos géneros alimentícios de menor importância na sequência de um acidente nuclear ou de qualquer outro caso de emergência radiológica.

Resolução do Conselho e dos Estados-membros n.º 87/C 328/01 de 19-10-1987

Prossecução e aplicação de uma política e de um programa de acção da Comunidade Europeia em matéria de ambiente (1987/1992).

Comunicação da Comissão n.º 85/C 347/03 de 31-12-1985

Sobre a execução das Directivas do Conselho 80/836/Euratom, de 15 de Julho de 1980, que altera as directivas que fixam as normas de base relativas à protecção da saúde da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes.

Decisão do Conselho n.º 85/200/Euratom de 12-03-1985

Que adopta um programa plurianual de investigação e de formação para a Comunidade Europeia de Energia Atómica no domínio da protecção contra radiações (1985-1989).

Decisão da Comissão n.º 79/520/Euratom de 16-05-1979

Relativa à criação de um grupo de peritos independentes de alto nível em matéria de segurança nuclear.

C.5 – SEGURANÇA

Como já foi referido, as radiações podem ter efeitos nocivos sobre os seres vivos. Contudo, o ser humano só consegue detectar fontes de radiações infravermelhas ou visíveis através dos seus órgãos sensoriais. No caso de as fontes emitirem radiações de outro tipo, o ser humano não sentirá nada, pelo menos imediatamente. A prevenção só será possível se existir sinalização ou se existir um detector de radiação.

A finalidade das medidas de segurança e das medidas de controlo é reduzir a possibilidade de exposição a níveis perigosos de radiação. As medidas de controlo podem ser agrupadas em três categorias:

- a) Instalações concebidas para o fim a que se destinam. As instalações devem ser concebidas tendo em conta os riscos que a actividade a desenvolver acarreta.
- b) Equipamentos de protecção pessoal e vestuário adequado.
- c) Controlos administrativos - informação, treino, desenvolvimento de procedimentos adequados.

Deverão igualmente existir meios de vigilância, detectores da dose de exposição e exames médicos periódicos.

C.5.1 – SINALIZAÇÃO

Conforme a Portaria n.º 1456-A/95 de 11 de Dezembro, os sinais de aviso relativos a radiações e substâncias radiactivas são os seguintes.



Substâncias Radiactivas



Radiação Não ionizante



Raios LASER

Estes sinais devem ter forma triangular, um pictograma negro sobre fundo amarelo, que deve cobrir, pelo menos, 50 % da superfície do sinal, e uma margem negra.

De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 9/90 de 19 de Abril, o trifólio é o símbolo básico para significar o perigo de radiações ionizantes. O símbolo básico pode ser associado ao círculo, ao triângulo ou ao rectângulo para constituir sinais de proibição, de aviso ou de informação. Não são incluídas neste símbolo as ondas de radiofrequência, as radiações visíveis, infravermelhas ou ultravioletas.

C.5.2 – DETECTORES

Dosímetros de radiação pessoais

Para assegurar que os utilizadores recebem doses abaixo da dose limite utilizam-se detectores de baixos níveis de radiação que monitorizam a quantidade de exposição individual, acumulada num determinado período de tempo (Morgan, 1993). Estes detectores são designados por dosímetros, porque permitem calcular a dose de radiação recebida.

Em Portugal, o controlo dosimétrico nas instalações de radiodiagnóstico é feito através de dosímetros fotográficos, pelo Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear.

A dosimetria por filme (detectores de radiação fotográficos) é a forma mais comum de monitorização da dose de radiação. O aparelho consiste numa pequena caixa com um filme entre dois filtros que permitem estimar a energia da radiação recebida. A exposição

do dosímetro à radiação ionizante sensibiliza o filme. A zona sensibilizada escurece quando o filme é processado. A quantidade de escurecimento do filme é avaliada com um densitómetro e é proporcional à dose de radiação recebida (Morgan, 1993). Após a exposição, a densidade é medida para estimar a dose baseada na energia média dos fótons.

Os dosímetros termoluminescentes constituem um outro tipo de detectores de radiação. A dosimetria por TLD (*Thermoluminescent dosimetry*) baseia-se nas alterações produzidas pela radiação em certos cristais de sulfato de cálcio e fluoreto de lítio. Nestes cristais, os electrões da rede cristalina são excitados, quando expostos à radiação, estado que mantêm até os cristais serem aquecidos a altas temperaturas. Quando aquecidos, os electrões voltam ao seu estado de inicial e emitem luz. A quantidade de luz libertada durante o aquecimento é usada para estimar a dose de radiação (Morgan, 1993; Orden e Gonzalo-Orden, 1994).

As câmaras de ionização são outro tipo de detectores de radiação, que permitem a detecção electrónica e leitura directa da dose de radiação recebida (Dowsett *et al.*, 1998; Orden e Gonzalo-Orden, 1994). Os instrumentos de ionização, tais como os contadores de Geiger, contêm um gás que, quando ionizado pelas radiações, produzem electrões livres permitindo a passagem de uma corrente eléctrica através de dois eléctrodos. A exposição da câmara à radiação ionizante resulta numa perda de carga proporcional à quantidade de exposição. Este tipo de detectores tende a ser ineficaz na detecção das partículas alfa e beta, porque as paredes do aparelho funcionam como escudo contra os tipos de radiação menos penetrante e de alcance mais curto.

Um outro tipo de detectores usa as cintilações para detectar radiação. Um feixe de partículas α ao embater num alvo, coberto por certas substâncias, produzem cintilações que podem ser detectadas usando um microscópico de pequena ampliação, no caso de estas serem visíveis. Como o processo de detecção visual era fatigante, os contadores de cintilação, actuais, usam um tubo fotomultiplicador para produzir um impulso electricamente mensurável da radiação convertida em luz. Nos materiais que emitem cintilações incluem-se o iodeto de sódio para os raios gama e o sulfureto de zinco para as partículas alfa.

C.5.3 – MEIOS DE PROTECÇÃO

Tendo em vista os efeitos biológicos que a exposição às radiações pode causar, tornou-se necessário encontrar meios que possibilitem proteger os seres vivos desses danos.

Estes meios de protecção terão de ter em conta a capacidade que cada tipo de radiação tem para penetrar na matéria.

PENETRABILIDADE

Quando uma partícula penetra na matéria, não só esta perturba a matéria como o inverso também é válido. A matéria perturba a trajectória da partícula e leva-a a libertar a sua energia.

Como já foi referido anteriormente, as interacções estabelecidas entre a radiação e a matéria dependem principalmente da massa e da carga eléctrica da partícula incidente. Assim, as perdas de energia das partículas, decorrentes das interacções com a matéria, serão apresentadas segundo quatro categorias: a das partículas de massa e carga eléctrica nulas (fótons), a das partículas pesadas carregadas (prótons, α , iões pesados), a das partículas leves carregadas (electrões) e finalmente a dos neutrões pesados e electricamente neutros.

Partículas de massa e carga eléctrica nulas

Radiações Não Ionizantes

Se o meio for um dieléctrico perfeito, ou seja, um isolante, a onda é reflectida e refractada sem dissipação de energia. Se o meio é um condutor perfeito, a onda penetra até ao limite de uma fina camada de espessura δ chamada *profundidade de penetração* (de Lima, 2003).

Quando o meio é constituído por partículas com dimensões da ordem do comprimento de onda da radiação, ou apresenta variações geométricas ou estruturais com distâncias inferiores a este, podem ocorrer fenómenos como a difracção e a dispersão.

Radiação Infravermelha

As radiações infravermelhas têm um poder de penetração tanto maior quanto maior for a sua energia. Deste modo, as radiações infravermelhas de maior comprimento de onda são absorvidas numa espessura de ~0,1 mm, de pele.

Cerca de 20% das radiações IV de menor comprimento de onda (1500 a 760 nm), atinge 1 mm de profundidade e 5% os 2 mm (de Lima, 2003).

Radiação Visível

Aproximadamente 20 % das radiações visíveis, penetram as três camadas da pele. A radiação vermelha é, das radiações visíveis, a que apresenta maior poder de penetração na pele.

Radiação Ultravioleta

A profundidade da penetração das radiações UV na pele depende do comprimento de onda da radiação (quanto maiores forem os comprimentos de onda maior será a sua penetração). 70% das radiações UV-B são reflectidas pelas camadas exteriores da epiderme e 30% penetram na própria epiderme, onde são parcialmente absorvidas pelos queratinócitos e os melanócitos; só 10% atingem a derme superior. 80% das radiações UV-A chegam até à derme, e 20% destas penetram profundamente na pele alcançando a hipoderme.

Na tabela C.9 apresentam-se, para diversos comprimentos de onda da radiação incidente, a profundidade de penetração, δ , em metros.

Tabela C.9 - Profundidade de penetração de algumas radiações (de Lima, 2003).

Radiação	λ (nm)	δ (m)
Microondas	3×10^{10}	0,2 → 2
Microondas	3×10^8	0,03 → 2
Infravermelho, visível	3×10^5	Derme
Ultravioleta	300	Epiderme

Na terceira coluna apresentam-se dois valores. O primeiro diz respeito a tecidos muito ricos em H₂O (por exemplo, pele e músculos) enquanto que, do outro lado da seta, se encontram tecidos pobres em água (por exemplo, osso ou gordura).

Radiação ionizante

Se a radiação é ionizante, torna-se impossível prever a distância que o fóton pode percorrer antes de perder toda ou quase toda a sua energia, visto esta transferência de energia poder ocorrer numa única interacção. Tudo o que se pode prever é a distância em que ele tem 50% de probabilidade de interagir. Assim, mede-se o poder de absorção de um meio pelo valor da espessura da matéria que absorve metade dos fótons. A espessura de um absorvedor, que reduz a metade a intensidade da radiação incidente designa-se por *camada semi-redutora* ($X_{1/2}$).

$X_{1/2} = 0,693 / \mu$, em que μ é o *coeficiente de atenuação linear do meio*, que depende do meio e da energia da radiação.

A *atenuação* de uma radiação consiste na diminuição da intensidade dessa radiação devido a fenómenos de absorção e de dispersão que ocorrem quando a radiação atravessa um meio.

Para uma radiação monocromática o decréscimo de intensidade pode ser determinado do seguinte modo

$$\Delta I = I - I_0 = I_0 e^{-\mu x} - I_0$$

onde I é a intensidade da radiação após ter passado através de um meio com espessura x e I_0 é a intensidade inicial da radiação.

Radiação X

Elementos de massa elevada, tais como o cálcio e o bário, são melhores absorvedores de raios X do que os elementos mais leves como o hidrogénio, carbono e oxigénio (este facto é usado para obter-se imagens dos ossos). O ar é um péssimo absorvedor de raios X. No caso do ar, seriam precisos 25 m para diminuir a metade a intensidade de uma radiação X de 1MeV. No caso do chumbo, seriam necessários 0,86 cm.

Na radioprotecção das instalações de radiodiagnóstico, em que são usadas radiações X à volta de 0,1 MeV, as portas são normalmente revestidas com folhas de chumbo (2 mm), nas paredes é utilizada argamassa com barita (3/5 de barita, 1/5 de areia e 1/5 de cimento) com espessura de 3 cm, em 3 camadas de 1 cm, e nos visores vidro de compósito chumbíneo, materiais que oferecem uma radioprotecção equivalente a 2 mm de chumbo (Philips Portuguesa, 1999).

Radiação gama

As radiações gama são extremamente penetrantes. Para reter este tipo de radiação usa-se chumbo, cimento, aço ou terra.

A Tabela C.10 apresenta as camadas semi-redutoras no tecido humano e no chumbo para radiações X e γ .

Tabela C.10 - Camada semi-redutora no tecido humano e no chumbo para radiações X e γ (Okuno, 1986)

Energia da radiação /MeV	Camada semi-redutora /cm	Camada semi-redutora /cm
Radiação X ou γ	Tecido humano	Chumbo
0,01	0,13	$4,5 \times 10^{-4}$
0,05	3,24	$0,8 \times 10^{-2}$
0,1	4,15	$1,1 \times 10^{-2}$
0,5	7,23	0,38
1,0	9,91	0,86
5,0	23,10	1,44

Deve ter-se em atenção que, pode atenuar-se fluxo de fótons por meio de um factor tão grande quanto se queira, mas nunca o anulamos completamente. Contudo, para nos protegermos, basta reduzir esse fluxo a um valor inofensivo para os organismos vivos. Isto é feito interpondo ecrãs de espessuras e materiais adequados entre a fonte e o órgão sensível.

Partículas carregadas com massa elevada

As partículas carregadas sofrem, ao contrário dos fótons, um elevado número de colisões antes de perderem totalmente a sua energia. Isto acontece porque estas partículas são milhares de vezes mais pesadas do que os electrões com que colidem (raramente encontram um núcleo).

A distância que uma partícula percorre antes de parar é designada por *alcance*. O alcance das partículas alfa é muito pequeno, o que faz que elas sejam facilmente blindadas.

Num dado meio, partículas alfa de igual energia têm o mesmo alcance. Portanto, aumentando-se a energia das partículas alfa, aumenta-se o alcance para um dado meio. Por outro lado, fixando-se a energia da partícula alfa, o alcance diminui, se a densidade do meio aumentar.

Conhecendo a energia inicial da partícula, deduz-se com bastante rigor o comprimento do seu percurso num dado material. Na interacção de uma partícula alfa

com átomos de ar, esta perde, em média, 33 eV por ionização. Então, uma partícula alfa com uma energia cinética inicial de 4,8 MeV, emitida pelo rádio-226, produz cerca de

$$\frac{4,88 \times 10^6 \text{ eV}}{33 \text{ eV}} \sim 145 \text{ 000 ionizações antes de parar.}$$

33 eV

Mesmo sem blindagem, a referida partícula alfa não consegue atravessar a pele humana. Uma partícula α emitida pelo rádio-226 ($E = 4,8 \text{ MeV}$) penetra 3,4 cm no ar e 35 micrómetros (μm) na pele humana. Esse percurso é praticamente o mesmo para todas as partículas com a mesma energia e o fluxo de partículas é nulo a partir desta distância.

Externamente, o dano causado à vida humana é, provavelmente, quase nulo. Contudo, deve ter-se em atenção que, a ingestão de uma fonte emissora de partículas alfa, por uma pessoa, poderá causar-lhe danos profundos em certas partes do corpo.

Partículas carregadas com massa pequena (partículas β)

No caso de irradiação com partículas β , deve ter-se em atenção que estas não só dispersam a sua energia num volume bastante vasto, como também podem provocar a emissão de fótons. Finas folhas de metal chegam frequentemente para parar as partículas β , contudo, estas não retêm os fótons, que têm de ser blindados de outra forma.

Partículas beta são muito mais penetrantes que as partículas alfa, como se pode ver na tabela C.11.

Tabela C.11 - Alcance das partículas α e β no ar, no tecido humano e no alumínio (Okuno, 1986)

Energia (MeV)	Alcance (cm)	Alcance (cm)	Alcance (cm)
Partículas alfa	Ar	Tecido humano	Alumínio

1,0	0,55	$0,33 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-2}$
2,0	1,04	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,61 \times 10^{-2}$
3,0	1,67	$1,00 \times 10^{-2}$	$0,98 \times 10^{-2}$
4,0	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$0,50 \times 10^{-2}$
5,0	3,50	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-2}$
Partículas beta	Ar	Tecido humano	Alumínio
0,01	0,23	$0,27 \times 10^{-3}$	
0,1	12,0	$1,51 \times 10^{-2}$	$4,3 \times 10^{-3}$
0,5	150	0,18	$5,9 \times 10^{-2}$
1,0	420	0,50	0,15
2,0	840	1,00	0,34
3,0	1260	1,50	0,56

Partículas de carga eléctrica nula com massa elevada

Os neutrões são muito penetrantes, porque percorrem grandes distâncias através da matéria, antes de interagirem com o núcleo dos átomos que compõem o meio. Os retardadores mais eficazes de neutrões são os protões. Uma vez retardados, os neutrões são capturados por núcleos vizinhos.

Podem ser blindados por materiais ricos em hidrogénio, como, por exemplo, parafina ou água.

MEDIDAS DE PRECAUÇÃO

Devem ser tomadas precauções, pelas pessoas profissionalmente expostas a radiações, a fim de limitar os riscos e prevenir acidentes. As medidas de protecção que são adequadas a cada tipo de radiação e situação são diferentes.

Quando se pondera quais são as medidas adequadas a uma determinada situação, deve ter-se em atenção se há risco de exposição interna ou externa, do organismo.

Exposição interna

A *exposição interna* ocorre quando houver contaminação radiactiva do organismo com a introdução de radioisótopos por via respiratória, digestiva, transcutânea ou traumática.

As medidas de precaução mais adequadas para que não ocorra exposição interna são:

- a. usar máscaras, evitando inalação de gases ou poeiras radiactivas;
- b. não pipetar com a boca, não colocar os dedos na boca, e não fumar nos locais de trabalho. Lavar as mãos, sempre que necessário, com água e sabão;
- c. utilizar luvas e roupas especiais, pois alguns produtos, como o trítio, podem ser absorvidos pelo organismo através da pele, principalmente quando houver cortes ou arranhões.

Exposição externa

A exposição externa ocorre quando o organismo é irradiado por uma fonte externa a ele.

As medidas de protecção, para situações em que haja exposição externa baseiam-se em três factores: tempo, t , e distância, d , de permanência relativos a fonte de radiação e protecção apropriada.

Assim, para diminuir as exposições externas, devem ser tomadas as seguintes precauções:

- a. evitar exposições desnecessárias (permanecer o mínimo tempo possível próximo à fonte de radiação)
- b. trabalhar à máxima distância possível da fonte;
- c. usar protecção adequada do organismo, utilizando material radioprotector, para diminuir ou para atenuar completamente a radiação.

Casos especiais

Radiação UV

Quando usar ou substituir uma lâmpada UV deve-se usar óculos protectores para esta gama de radiações. Quando for inevitável a exposição durante longo tempo à radiação UV a pele deve estar adequadamente protegida, por vestuário apropriado.

Deve haver boa ventilação para eliminar o ozono que é produzido perto de uma fonte de radiação UV.

Radiação LASER

O Comité Internacional das Radiações Não Ionizantes (INIRC) em colaboração com um grupo de especialistas da OMS fixou os riscos para a Saúde e os limites de exposição a aparelhos LASER e respectivas Radiações Ópticas em função de quatro categorias (NF EN 60.825.1).

A natureza e a intensidade da radiação produzida pelos lasers variam de um aparelho para outro. Assim a INIRC recomenda as seguintes precauções gerais e especiais.

Precauções gerais:

- Usar sempre óculos de protecção contra a radiação produzida pelo laser. Ter em atenção que nenhum tipo de óculos fornece uma protecção total.
- Não olhar directamente para fonte de radiação.
- Para alinhar um feixe usar um detector de feixe ou outra técnica que não requeira olhar directamente.
- Não deixar objectos reflectores na trajectória do feixe.
- Os trabalhadores, sujeitos a Radiação LASER, deverão ser sujeitos a exames médicos de Admissão, Periódicos e de Cessação de Funções.
- Para além do referenciado, em cada aparelho, deve afixar-se próximo da abertura da emissão do feixe LASER um sinal de aviso.

Categorias e recomendações especiais:

Classe 1- Aparelhos de Laser de potência inferior a 1 mW, considerados de risco nulo.

Classe 2 – Aparelhos de Laser de potência inferior a 1 mW, mas cujos comprimentos de onda se situam na parte visível do espectro, havendo o risco de, quando se fixa directamente o feixe de luz sobre a retina, ocorrerem lesões.

Classe 3 A - Aparelhos de potência média superior a 1 mW, que não produzem lesões sobre a pele mas que possam ocasionar lesões oculares, ao mesmo tempo que se verifica a natural aversão do olho contra a luz clara e brilhante.

Classe 3 B – Aparelhos com potência média superior a 1mW, em que a lesão cutânea é prevenida por uma sensação de calor e de picar, podendo ocasionar lesões oculares ao mesmo tempo que se verifica a natural aversão do olho contra a luz clara.

Estes aparelhos são potencialmente perigosos. Deve manter-se uma distância mínima de 13 cm entre o ecrã e a córnea e intervalo deve ser no máximo 10s.

Classe 4 – Aparelhos de maior potência para aplicação em cirurgia, com maior risco de lesionar a pele e o olho, podendo causar combustão das matérias inflamáveis, e reflexos difusos que constituem um risco para o olho.

O vestuário deverá ser resistente ao calor e ao fogo.

Radiações X e γ

No caso dos exames radiográficos o médico e os seus ajudantes devem ter especial cuidado com a radiação secundária. Este tipo de radiação deve-se aos fotões da radiação X poderem interactuar com os átomos dos tecidos e mudar de direcção, sem perda de energia (radiação secundária clássica).

Dependendo da sua energia, os fotões da radiação secundária, podem ser absorvidos pelos tecidos ou sair para o exterior. Na segunda situação, podem ser dispersos na sala de raios X. Estes fotões possuem as mesmas propriedades biológicas indesejáveis dos fotões do feixe primário de raio X, embora tenham menor capacidade de penetração, visto terem menos energia.

Apresentam-se a seguir, na tabela C.11, as regras básicas de segurança para o diagnóstico radiográfico

Tabela C.11 – Regras básicas de segurança para o diagnóstico radiográfico. Adaptado de Morgan (1993), Perry (1993) e Webbon (1997).

- O exame radiográfico deve ser justificado pelas vantagens clínicas que proporciona.
- Não permitir a permanência de menores nem de mulheres grávidas na sala de exames.
- Rodar o pessoal que permanece na sala.
- Não expor nenhuma parte do corpo ao feixe primário de raios X.
- Utilizar sempre vestuário radioprotector adequado (aventais, luvas, protectores da tiróide, etc.).
- Fazer uma adequada limitação do feixe primário de raios X e afastar-se o máximo possível da fonte de radiação secundária.
- Usar combinações de ecrãs intensificadores e películas rápidas, de forma a reduzir ao máximo os factores de exposição.
- Realizar o processamento das películas de forma correcta (temperaturas e qualidade das soluções adequadas).
- Utilizar dosímetros de radiação.
- Planear o exame radiográfico para evitar repetições desnecessárias.
- Utilizar tabelas de exposição radiográfica para assegurar a qualidade diagnóstico e evitar repetições.

Instalações de Radiodiagnóstico

As instalações de radiodiagnóstico, à excepção das de medicina dentária, quando estão integradas em áreas de habitação ou serviços devem situar-se a nível do solo ou subsolo. Os requisitos de radioprotecção das salas são definidos no Despacho nº 7191/97 e estão dependentes de vários parâmetros, nomeadamente: energia da radiação; carga semanal de funcionamento; direcção do feixe útil de radiação; tipo de ocupação das áreas a proteger.

Materiais radiactivos

Local

- Áreas em que os materiais radiactivos sejam usados devem estar claramente assinaladas e com acesso restrito.
- As superfícies e equipamentos devem ser feitos de materiais não porosos e resistentes a químicos.
- Todo o ar do laboratório deve passar por um exaustor.

Equipamento

- Devem existir detectores de radiação.
 - Devem existir equipamento para protecção do aparelho respiratório.
 - Fornecer mudas de roupa completa quando necessário.
 - Deverá existir papel absorvente para derrames radioactivos em superfícies não porosas.
- O papel deve ser considerado como material contaminado.

Armazenamento

- Materiais que possam dar origem a aerossóis ou gases radioactivos devem ser armazenados numa “hotte” com ventilação adequada.
- Todo o material radioactivo deve ser armazenado em contentores com: sinal de aviso de material radioactivo; descrição completa do conteúdo do contentor, incluindo isótopo, actividade máxima, na data, etc..

Procedimentos

- Não se pode comer, fumar, aplicar cosméticos nas áreas reservadas para usar materiais radioactivos.
- Todos os instrumentos, contentores, etc. usados no laboratório desde o armazenamento até à eliminação devem ter a indicação clara da data, do isótopo, dos produtos do decaimento, e do tipo de radiação emitida. Não deverão ser utilizados para outros fins.
- Deverão ser realizados procedimentos de descontaminação nas áreas restritas.
- Não se deve pipetar materiais radioactivos com a boca.
- Sempre que possível, os procedimentos que envolvam materiais radioactivos deverão ser realizados em tabuleiros ou bancadas cobertas com material absorvente descartável.
- Os materiais radioactivos devem ser usados em sistemas fechados, e fazer, frequentemente, controlos de fugas.
- Procedimentos que possam produzir contaminação radioactiva que se possa propagar pelo o ar, devem ser feitos numa “hotte”.
- Procedimentos que envolvam pós secos radioactivos deverão ser realizados numa caixa com luvas.
- Deverá ser usado material de protecção adequado (máscaras de protecção, vestuário adequado, protecções de sapatos).
- Após manusear material radioactivo, e antes de deixar o laboratório, o pessoal de laboratório deve lavar as mãos e assegurar-se que as roupas, os sapatos estão livres de contaminação radioactiva.

Controlo

- O pessoal do laboratório deve fazer exames médicos pelo menos uma vez por ano, e devem ser mantidos registos das pessoas expostas à radiação.
- Os exaustores devem ser examinados para detectar possível contaminação radiactiva.
- Devem ser recolhidas amostras de ar, frequentemente, para verificar se houve contaminação radiactiva.

Protecção em caso de acidente em que haja precipitação radiactiva

Em caso de acidente ou testes com armas nucleares, pode ocorrer precipitação radiactiva. Consideram-se, neste caso, quatro situações:

1-Via normal – não há alteração nos hábitos da população. Mantém-se o estado de vigilância e de informação.

2- Restrição no consumo de certos alimentos

As partículas da precipitação radiactiva podem ser engolidas com as bebidas, a comida ou a respiração.

Embora os alimentos não fiquem radiactivos ao serem irradiados podem ficar contaminados com partículas radiactivas. Alimentos embalados à prova de ar e de água poderão ser ingeridos sem risco se a embalagem for limpa antes de ser aberta.

Os animais podem apanhar poeiras radiactivas quando se alimentam, dando origem à radiação interna. Alguma pode alojar-se na carne, nos ossos, nos órgãos e, especialmente, no leite.

Quando um animal doméstico é abatido para consumo, a carne pode ser consumida com razoável segurança (só uma pequena parte se aloja nos músculos), desde que:

- se corte as goelas para que sangue completamente;
- a pele não tenha sido ferida por golpes ou queimaduras.
- o animal seja esfolado com cuidado para que a precipitação caída sobre a pele não conspurque a carne; no caso das aves, estas devem ser sacudidas completamente antes de serem depenadas.

As entranhas, cabeça, pescoço e ossos devem ser desperdiçados.

O peixe armazena venenos radiactivos tanto na carne como nos órgãos internos. Após a precipitação radiactiva não se devem comer peixes de águas costeiras ou de água doce.

Após um teste nuclear nas ilhas Marshall, descobriu-se que o Cério-144 e o Ferro-55 estavam presentes, de forma significativa, no peixe e nas aves que os haviam comido.

Por sua vez, os dejectos destas aves tinham atingido, em terra, as plantas, contaminando-as.

Os efeitos específicos conhecidos de alguns isótopos existentes na precipitação radiactiva são indicados na tabela C.13.

Tabela C.13 - Efeitos específicos conhecidos de alguns isótopos radiactivos (Popkess, 1980)

Isótopo	Efeitos específicos
Cálcio-45	Deposita-se nos ossos, emitindo radiações beta e afectando os órgãos produtores de sangue.
Ferro-55	Radiação gama. Afecta todo o corpo, em especial o baço.
Zinco-65	Radiação beta e gama. Afecta o fígado e os órgãos do sistema respiratório.
Estrôncio-89 e 90	Radiação beta e gama. Tal como o cálcio, entra no organismo especialmente através do leite, mas também através da carne, dos vegetais e da água. Deposita-se nos pulmões, intestinos e ossos, onde, através da medula, afecta o sangue e pode provocar o aparecimento de cancro nos ossos ou leucemia.
Iodo-131	Radiação beta e gama. Pode ser ingerido com o leite. Acumula-se na tiróide e, no caso das crianças, pode destruí-la ou conduzir ao aparecimento de cancro. Limita o crescimento físico e mental.
Césio-137	Radiação beta e gama. É absorvido pelas plantas e nem sempre pode ser lavado, soprado ou sacudido delas. Pode distribuir-se por todo o corpo, embora tenha tendência para se concentrar nos músculos, fígado e baço.
Cério-144	Radiação beta e gama. Deposita-se no fígado, baço e intestinos.

3- Abrigo

Em situações em que se verifique precipitação radiactiva deve-se limitar, o mais possível, o tempo de exposição e procurar um abrigo adequado. Este deve ser o mais afastado do solo possível, pois a maior parte da precipitação irá acumular-se no solo. Pode ser uma cave ou um rés-do-chão sem janelas, ou uma sala alta de um bloco de apartamentos, desde que não fique acima de outros blocos de apartamentos e não fique muito perto do telhado.

Usar, se possível, vestuário confeccionado com materiais de textura macia, para evitar a acumulação de poeiras nas fibras. Contudo deve-se evitar a seda ou qualquer material que se carregue de electricidade estática pois poderá atrair as poeiras.

O nariz e a boca devem ser cobertos com gaze para evitar a inalação de poeiras radiactivas.

Deverá usar-se luvas de borracha para evitar que as poeiras radiactivas se alojem debaixo das unhas.

4- Evacuação (situação extrema).

C.5.4 – DESCONTAMINAÇÃO

Embora pouco se possa fazer em caso de exposição às radiações, muito pode ser feito quanto às partículas que emitem a radiação.

Contaminação externa

- Depois de uma possível exposição, o vestuário e o corpo têm de ser libertos de qualquer partícula de poeira. Deverá usar-se jactos de água quente e bastante sabão ou detergente. Se não houver água disponível, escova-se ou sacode-se. Ter o cuidado de não causar lesão cutânea.

- Deve-se ter o cuidado de limpar as costuras, bolsos, etc..

- A pele deve ser esfregada com permanganato de potássio e um detergente.

- Todos os desperdícios radiactivos provenientes da descontaminação, sejam secos ou molhados, devem ser guardados ou então deitados fora tão cuidadosamente quanto as circunstâncias o permitam.

Contaminação interna

A eficácia do tratamento diminui rapidamente com o tempo.

- Administrar iodo estável se houver a presença de iodo radiactivo. O iodo estável impede a fixação do iodo radiactivo.

- Fazer uma vaporização com DPTA (Dietileno Triamina Pentacética) se se verificar a presença de radioisótopos emissores α .

- Beber grandes quantidades de líquidos.

- Tomar um laxante suave.

C.5.5 – RESÍDUOS RADIATIVOS

Os processos que utilizam substâncias radioativas produzem resíduos perigosos para o ambiente. O produtor é responsável pelo destino final dos resíduos e as normas nacionais para a sua gestão adequada encontram-se no Decreto-Lei nº239/97.

O problema dos resíduos é muito importante. Um acidente grave, de contaminação radioativa, teve lugar em 1987 no Brasil, na cidade de Goiânia, devido a uma fonte de cézio-137 ter ficado esquecida durante uma mudança de instalações de um instituto de radioterapia. Duas pessoas que encontraram esta fonte selada, abriram a caixa e provocaram a difusão rápida do cloreto de cézio. A luminescência do sal de cézio fascinou a população, que manipulou o pó, sem ter qualquer noção do perigo, favorecendo a contaminação interna e externa. As consequências foram graves: entre as vinte pessoas fortemente contaminadas, ocorreram quatro mortes por irradiação aguda no primeiro mês e duzentas e cinquenta pessoas atingiram um nível de contaminação elevado.

Apresentam-se na tabela C.14 as meias vidas aproximadas de alguns isótopos radioativos.

Tabela C.14 - Meias vidas aproximadas de alguns isótopos radioativos (Popkess, 1980)

Isótopos	Meia vida
Iodo-131	8 dias
Estrôncio-89	52 dias
Cálcio-45	164 dias
Cobalto-60	5,3 anos
Trítio/ hidrogénio-3	12 anos
Estrôncio-90	28 anos
Césio-137	33 anos
Carbono-14	5600 anos
Plutónio-239	24 000 anos
Urânio-235	700 000 000 anos

ANEXO – D

RADIAÇÃO NATURAL E ARTIFICIAL

A população humana está continuamente exposta a radiação ionizante e não ionizante, de origem natural e artificial.

D.1 – RADIAÇÃO NATURAL

A maior parte da dose de radiação ionizante a que um ser humano está sujeito, em condições normais, deve-se a causas de origem natural.

A quantidade de radiação natural, que provém simultaneamente do solo e do espaço, flutua grandemente consoante os locais, e depende de diversos factores (altitude, geologia, etc.).

Grande parte desta radiação deve-se aos raios cósmicos (partículas com elevada energia provenientes do espaço interestelar). Felizmente, parte da sua energia é absorvida na atmosfera da Terra, que actua como filtro de protecção. Contudo, a dose aumenta com a altitude. A intensidade de radiação a 4000 m de altitude é 4 vezes superior do que ao nível do mar (Hernández e Larrea, 1992) e é claramente mais elevada em voos aéreos de grande altitude, onde a atmosfera se torna muito ténue.

Os raios cósmicos, para além de poderem provocar danos directamente, podem, também, ao chocarem com núcleos de certos átomos, provocar danos indirectos pois originam a transmutação destes núcleos em núcleos radioactivos que são, por sua vez, outras fontes naturais de radiação.

A maior parte da radiação ionizante natural resulta da presença na crosta e no manto terrestre de isótopos radiactivos como o tório-232, o urânio-238 e, em menor quantidade, o urânio-235. Vestígios desses elementos e dos seus descendentes radioactivos também podem ser encontrados nos materiais de construção (pedra, tijolo, betão, gesso...) e estão presentes, em quantidades variáveis, nas águas e nos alimentos.

O nosso próprio organismo é radioactivo, porque armazena pequenas quantidades de certos elementos, como o potássio-40 e o carbono-14.

Metade da dose natural de radiação, resultante da radioactividade, vem de uma única fonte, o gás radão-222. O radão resulta do decaimento radioactivo do urânio-238, um

componente natural de muitos solos e rochas duras como é o caso do granito (Dowsett *et al.*, 1998). O radão é especialmente perigoso porque, estando no estado gasoso, facilmente vem à superfície e acumula-se dentro das habitações (Darby, 1999; Strickland e Kensler, 1995). Este ou os seus descendentes (chumbo, bismuto, polónio) podem ser inalados e fixarem-se nos alvéolos pulmonares, podendo provocar o aparecimento de cancro.

De acordo com um estudo realizado em habitações no norte de Portugal pelo Instituto Tecnológico e Nuclear (Teste Saúde nº 34, de Novembro/Dezembro de 2001), existem em alguns locais, níveis de radiação quatro vezes acima do recomendado pela Comissão Europeia. Os distritos da Guarda e de Viseu apresentam zonas com elevados valores de radão, principalmente, devido ao facto do substrato geológico ser essencialmente constituído por rochas graníticas.

RADIOACTIVIDADE

A radioactividade consiste na transformação de isótopos instáveis de um elemento químico em isótopos de outro elemento, acompanhada de emissão espontânea de radiações de uma energia considerável. A *radioactividade natural* é a que se observa nos isótopos instáveis existentes na natureza. A *radioactividade artificial* resulta da radioactividade dos isótopos obtidos no decurso das reacções nucleares.

Quase todos os tipos de radioactividade são acompanhados da emissão de radiação gama, isto é, radiação electromagnética, dura, de ondas curtas, que é a forma fundamental da diminuição da energia dos produtos excitados das transformações radioactivas. Em geral, essa emissão ocorre quase em simultâneo com o fenómeno de desintegração que a precede. Quando o estado excitado tem um tempo de vida significativo, de modo que a radiação gama só é emitida após algum tempo, dá-se o nome de *transição isomérica* a esse processo de emissão.

Na tabela D.1 encontram-se reunidos os tipos fundamentais de radioactividade.

Tabela D.1- Tipos fundamentais de radioactividade (Yavorski e Detlaf, 1990)

	Varição da	Varição do	
--	-------------------	-------------------	--

Tipo de radiactividade	carga do núcleo, Z	número de massa, A	Carácter do processo
Desintegração α	Z-2	A - 4	Emissão de partículas α
Desintegração β	Z \pm 1	A	Emissão de partículas β
Desintegração β^-	Z-1	A	Emissão de partículas β^- e de antineutrinos electrónicos ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + ({}^0_{-1}e + {}^0_0\tilde{\nu}_e)$
Desintegração β^+	Z-1	A	Emissão de partículas β^+ e de neutrinos electrónicos ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + ({}^0_{+1}e + {}^0_0\nu_e)$
Captura electrónica	Z-1	A	Emissão de neutrinos electrónicos ${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + {}^0_0\nu_e$
Fissão espontânea	Z- ($\frac{1}{2}$)Z	A - ($\frac{1}{2}$)A	Fissão do núcleo em dois fragmentos aproximadamente iguais

D.2 – RADIAÇÃO ARTIFICIAL

Ao mesmo tempo que se verifica um aumento do conhecimento humano acerca dos efeitos indesejáveis da radiação, tem-se verificado um aumento do nível de exposição à radiação artificial, especialmente para fins médicos.

A radiação ionizante artificial, de origem não médica, é muito baixa numa situação normal. E deve-se, principalmente, às poeiras dos ensaios nucleares atmosféricos dos anos 60, aos efluentes e às irradiações directas das centrais nucleares e à irradiação de objectos de uso corrente (ecrãs catódicos...).

A Tabela D.2 apresenta as proporções típicas da radiação ionizante na Europa.

Tabela D.2– Proporções típicas de radiação ionizante natural e artificial na Europa (dose para todo o corpo).
(Adaptado de Dowsett *et al.* (1998) em Ginja e Ferreira, 2002)

Fonte	Dose (μ Sv)	%
-------	------------------	---

Radiação natural		
Radiação cósmica (actividade solar)	310	13
Radiação gama terrestre (solos, rochas e água)	380	16
Decréscimo radioactivo do gás radão (casas e área de trabalho)	800	33,5
Radiação interna (^{40}K , ^{14}C , etc.)	370	15,5
Total	1860	78%
Radiação artificial		
Procedimentos médicos	500	21
Disparo de armas de fogo	10	0,4
Descargas nucleares	3	0,15
Ocupacional	9	0,36
Viagens de avião	8	0,34
Total	530	22%
Total da radiação média de exposição do corpo humano	2390	100%

D.2.1 – APLICAÇÃO DAS RADIAÇÕES NA MEDICINA

A utilização de radiações na medicina é perfeitamente justificada, porque os benefícios clínicos que proporciona compensam largamente os riscos, desde que seja usada de forma criteriosa. Os benefícios que podemos tirar da sua utilização são: facilitar o diagnóstico de doenças e tirar proveito das suas propriedades para tratar certas doenças.

A ciência que estuda as aplicações das radiações na Medicina designa-se por *Radiologia*.

Radioterapia

A radioterapia utiliza as radiações para destruir tumores através da absorção de radiação incidente. Neste processo procura-se maximizar os danos infligidos no tumor e minimizar os danos nos tecidos vizinhos, sãos.

A radioterapia subdivide-se na teleterapia e na braquiterapia.

Teleterapia

Nesta técnica, a fonte radioactiva é colocada a muitos centímetros da região a ser tratada. Os equipamentos usados podem ser de quilovoltagem, de megavoltagem e de teleisotopoterapia.

Nos equipamentos de quilovoltagem, são usados tubos convencionais de raios X para produzir a radiação. A dose máxima ocorre na pele, por isso estes equipamentos são usados principalmente no tratamento do cancro da pele. Este tipo de radiação também é usado, devido aos seus efeitos térmicos, na terapia de artrite, artrose, bursite e para diminuir a rejeição no caso de transplantes.

Nos equipamentos de megavoltagem, são utilizados aceleradores de partículas para produzir a radiação. São usados na terapia de tumores nos órgãos mais profundos como por exemplo no pulmão, na bexiga, na próstata, no útero, na laringe, no esófago, etc..

Nos equipamentos de teleisotopoterapia usam-se isótopos radioactivos, sendo os mais comuns: ^{60}Co , ^{137}Cs e ^{226}Ra .

Braquiterapia

Nesta técnica a fonte está em contacto com o tecido a ser tratado ou é implantado nele. Este processo permite irradiar o tumor com uma dose levada sem causar danos graves nos tecidos vizinhos normais. São usados isótopos radioactivos como ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{192}Ir e ^{198}Au .

Um tipo especial de braquiterapia usa partículas beta e designa-se por betaterapia. Como fontes de radiações beta são usados: o ^{90}Y e o ^{90}Sr .

Imagiologia

A *Imagiologia* é a ciência que estuda o processo global de criação e visualização de uma imagem de diagnóstico. Várias das técnicas usadas em imagiologia utilizam radiações para a obtenção da imagem.

Radiologia diagnóstica

A radiologia diagnóstica utiliza um feixe de radiação X para a produzir imagens num filme, num anteparo fluorescente ou num ecrã de televisão.

Radiologia convencional

A radiologia convencional tira partido da diferente absorção da radiação X pelos tecidos que atravessa. Esta absorção depende do número atómico, da concentração molecular e da espessura dos tecidos.

Para obter uma imagem, a radiação X atravessam a zona do corpo da pessoa a ser observada, sendo absorvida em quantidades diferentes por diferentes tecidos. A radiação transmitida é depois captada por uma película fotográfica sensível à radiação, que depois de ser revelada dá origem à radiografia.

Fluoroscopia

Na fluoroscopia a imagem é obtida do mesmo modo que na radiografia convencional, mas a imagem, em vez de ser captada em filme, é convertida em luz visível por meio de um intensificador de imagem, e visualizada num ecrã ou num tubo de raios catódicos (monitor de televisão). Esta técnica permite a visualização imediata da imagem.

Radiografia Digital

A radiografia digital funciona como a fluoroscopia, mas a imagem é digitalizada, podendo ser armazenada em computador.

Angiografia digital

A angiografia digital de subtracção funciona pelo mesmo princípio da radiografia digital, mas utiliza um contraste de alta absorção que é injectado nos vasos sanguíneos.

Contrastes

Para visualizar alguns órgãos, é necessário usar substâncias que, pela sua composição química e densidade, modifiquem a capacidade de absorção desses órgãos ou tecidos. Estas substâncias são designadas por *contrastes*.

Na sua acção, os contrastes podem fazer com que a quantidade de radiação absorvida seja superior à dos órgãos e tecidos adjacentes, sendo classificados como contrastes positivos. Os compostos moleculares que produzem contraste positivo têm estruturas com átomos de elevado número atómico, como acontece com o bário e o iodo. Os contrastes negativos, são compostos de baixa densidade e baixo número atómico. O oxigénio e o dióxido de carbono são alguns dos compostos usados (Tabela D.3).

Os contrastes podem ser introduzidos nos órgãos, ou serem injectados em artérias e veias, permitindo obter imagens quer do interior dos órgãos, quer dos vasos sanguíneos.

Tabela D.3 – Tipos de contrastes (Adaptado de Pisco, 2003)

Tipo	Contraste	Substância	Utilização
Positivo	Bário	sulfato de bário	Radiografia do tubo digestivo
	Iodo	Agentes iodados hidrossolúveis	Radiografia Torácica (sistema vascular) Cistograma da bexiga
		Agentes iodados lipossolúveis	Linfografia (estudo dos vasos linfáticos)
Negativo	Ar e dióxido de carbono	Embora possam ser isolados são normalmente associados ao bário em estudos de duplo contraste	São usados para distender as paredes da mucosa.
	metilcelulose	É usado associado ao sulfato de bário em estudos de duplo contraste	Enteroclise (estudo do intestino delgado)

Tomografia computadorizada

A Tomografia Computorizada funciona com o mesmo princípio da radiologia, mas a reconstrução da imagem é feita por um computador, a partir da informação recolhida a partir da radiação transmitida. Os varrimentos sucessivos de uma mesma região, com alteração sucessiva das posições relativas feixe-objecto permitem obter imagens seccionais. Esta é a grande vantagem em relação à radiografia convencional, em que as imagens de todos os órgãos aparecem sobrepostas e projectadas num plano.

Inicialmente, como só era possível obter imagens axiais, com ligeiros ângulos a partir da posição axial, este tipo de técnica era designada por Tomografia Axial Computorizada (TAC). Actualmente, como já se conseguem obter imagens noutros planos, a palavra “Axial” foi retirada da designação.

Ressonância magnética

A Ressonância Magnética permite obter informação não só anatómica mas também funcional.

O corpo humano é constituído por átomos, dos quais uma grande proporção é hidrogénio. Quando sujeitos a um campo magnético externo, os protões, existentes nos átomos de Hidrogénio, alinham-se com o campo e rodam em torno do seu eixo num movimento de precessão. Este movimento é tanto mais rápido quanto mais elevado for o

campo magnético. Se for emitida radiação electromagnética, como as ondas de rádio, próximo dos núcleos, exactamente à mesma frequência da sua precessão, eles podem absorver a energia desta radiação ficando alinhados no sentido oposto ao do campo magnético. Quando a radiofrequência é desligada os núcleos libertam a energia que absorveram, emitindo radiação. Cada tecido do corpo, por causa da sua diferente composição química, reemite radiação a uma taxa diferente, conhecida como o tempo de relaxação do tecido. Esta radiação é captada por uma antena, transformando-a em corrente eléctrica, que é então utilizada para construir a imagem. Como são utilizados núcleos num campo magnético, e aqueles absorvem radiação em ressonância, o método é designado por Ressonância Magnética Nuclear.

Uma das principais vantagens desta técnica é não utilizar radiação ionizante. As outras são a sua excelente resolução de contraste e espacial.

Contrastes em Ressonância

Inicialmente especulou-se que não seriam necessários meios de contraste, na RM, sendo suficiente a diferença natural entre os vários tecidos. No entanto, no início dos anos oitenta, do século XX, chegou-se à conclusão de que a utilização de meios de contraste poderia melhorar significativamente a acuidade da RM.

Medicina nuclear.

A medicina nuclear utiliza materiais radioactivos e técnicas de Física nuclear no diagnóstico, tratamento e estudo de doenças (Pisco, 2003).

Os radioisótopos, isótopos instáveis dos elementos, podem ser usados como traçadores ou marcadores, fornecendo informações sobre o comportamento dos sistemas biológicos através da detecção externa das radiações emitidas por estes isótopos (no caso das aplicações diagnosticas) ou como fontes de energia, possibilitando o tratamento através da interacção das radiações com o organismo doente (no caso das aplicações terapêuticas). Estes isótopos são designados genericamente como *radiofármacos*.

Diagnóstico

Na medicina nuclear é usado um sistema de detecção de radiação associado a um mecanismo que permite registrar a evolução de um radioisótopo dentro de uma pessoa. O detector pode ser um cristal de cintilação - por exemplo, o iodeto de sódio dopado com tálio, NaI(Tl) – que tem a propriedade de produzir cintilações devido a ocorrer uma interação com a radiação gama.

Os traçadores radioactivos, cujo comportamento fisiológico e bioquímico (para um determinado processo em estudo) é idêntico ao da substância estável, permitem a obtenção de imagens funcionais (cintigrafias). Em situações de doença, as alterações funcionais precedem as alterações morfológicas. Assim sendo, as imagens funcionais poderão desempenhar um papel importante numa detecção mais precoce da doença.

A utilidade de um radiofármaco depende essencialmente do comportamento químico e biológico do material marcado e das características do radioisótopo. O iodo-131 foi um dos primeiros isótopos radioactivos a ser utilizado com fins médicos, mas apresenta algumas desvantagens físicas: emissão mista e um tempo de semidesintegração relativamente longo (cerca de oito dias). A introdução de outros radioisótopos deu novo impulso à medicina nuclear.

A Tabela D.4 apresenta alguns radiofármacos e as suas aplicações.

Tabela D.4- Exemplos de radiofármacos e as suas aplicações (Okuno, 1986)

Isótopo	Uso
^{99m}Tc	Estudos dinâmicos cardíaco e cerebral Imagens do: cérebro, placenta, tiróide, pulmões, medula óssea, fígado, baço Imagens do osso
^{95}Se	Imagens do pâncreas
^{13}N	Estudos de perfusão e ventilação pulmonares Detecção de enfartes cardíacos
^{111}In	Imagens do cérebro e tecidos moles
^{123}I	Imagens da tiróide
^{11}C	Imagens da placenta Estudos dinâmicos cardíaco e dos pulmões
^{201}Tl	Imagens do miocárdio

Algumas das aplicações clínicas da medicina nuclear actual usam o computador: SPECT (Tomografia por emissão Fotónica Simples) e PET (Tomografia por Emissão de Positrões) cerebrais.

Terapêutica

A principal diferença entre a radioterapia e a terapia na medicina nuclear é o tipo de fontes usadas. No primeiro caso usam-se fontes seladas nas quais o material radioactivo não entra em contacto directo com o paciente ou com as pessoas que as manuseiam. No segundo, os materiais radioactivos não selados são ingeridos ou injectados a fim de serem incorporados nas regiões do corpo a serem tratadas.

A terapêutica com radionúclidos baseia-se numa adequada captação do radiofármaco nos tecidos alvo e tira partido, principalmente, da emissão de partículas β de curto alcance (na ordem de milímetros) e com elevado poder ionizante.

Além das aplicações terapêuticas em situações benignas (por exemplo, hipertiróidismo, artrite reumatóide) são utilizadas técnicas de medicina nuclear no tratamento de situações malignas, como o carcinoma bem diferenciado da tiróide.

Aplicação do Laser na Medicina

Tipos de Laser

Existe um leque muito variado de lasers, tanto para utilização em Medicina, como nos vários campos da actividade humana. Estes podem ser classificados de duas formas:

1- Tipos de laser em função do material activo usado para emitir a radiação.

Os tipos mais usados são:

A – Laser de estado sólido – utiliza materiais sólidos e/ou mistura de materiais sólidos (ex: Laser de rubi; Laser de neodímio-Yag).

B – Laser de estado líquido – utiliza materiais líquidos ou mistura de vários materiais líquidos.

C – Laser de gás – utiliza um gás ou uma mistura de gases (ex: Ar, CO₂ e HeNe).

D – Lasers semicondutores – tipo intermédio de Lasers, que usa cristais semicondutores injectados de impurezas com electrões livres no seu interior e que constituem o seu material activo.

2- Tipo de laser em função da aplicação em Medicina, onde se podem distinguir os de aplicação cirúrgica (“HARD-LASER”) e os de aplicação Terapêutica (“SOFT-LASER”).

A- Laser cirúrgico ou “Hard-Laser” - trabalham com uma potência da ordem de 1 a 200 W de potência de pico. Apresentam poder de corte e de coagulação com efeito homeostático imediato e são muito precisos.

B- Laser terapêutico ou “Soft-Laser” trabalham com uma potência reduzida, normalmente com aparelhos de 10 a 50 mW. Caracterizam-se por ter um efeito bioquímico, bioelétrico e bioenergético.

D.2.2 – OUTRAS APLICAÇÕES

A descoberta da radioatividade artificial e o desenvolvimento dos métodos de produção de radioisótopos em grande escala estimularam muitos pesquisadores a estudar as suas aplicações em diferentes ramos da Ciência. Essas pesquisas trouxeram grandes progressos não só na Medicina como na Agricultura e na Indústria.

Apresenta-se a seguir uma lista de algumas aplicações das radiações.

- Radiografias e gamagrafias (ensaios não destrutivos que são usados para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados).
- Medições de espessura ou de níveis de materiais
- Medições de vazamentos
- Pesquisa sobre desgaste
- Conservação de alimentos
- Esterilização de materiais cirúrgicos
- Aplicações na agricultura
- Criminologia (Análise por activação com neutrões)
- Estudo da poluição do ar
- Coloração de cristais
- Datação por meio da radiação
- Comunicações
- Fotocópias

ANEXO – E

RISCO

Embora já se saiba há muito tempo que a exposição às radiações comporta certos riscos, as primeiras estimativas, realizadas por comités científicos, só foram efectuadas em meados do século passado. Desde essa data têm sido realizados vários estudos e foram divulgados vários relatórios. O *Biological Effects of Ionizing Radiation committee five* (BEIR V) (em português, Quinto Comité sobre Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante) dedicou-se à determinação do risco associado com a exposição a radiações externas tendo os seus resultados sido publicados em 1990. Os resultados deste comité serão utilizados neste anexo para efectuar algumas comparações de risco.

O conceito de *risco* associado à exposição a radiações exprime o perigo ou a probabilidade de efeitos nefastos associados a uma exposição potencial ou real a radiações.

A determinação do risco da exposição a radiações é difícil, porque a principal fonte de radiações a que a generalidade da população está sujeita é a radiação natural e não é possível distinguir os efeitos que se devem à radiação natural daqueles que são originados pelas radiações antropogénicas. Por outro lado, também, é difícil averiguar quais são os efeitos que se devem exclusivamente à exposição a radiações dos que se devem a outras causas.

A determinação deste tipo de risco baseia-se em três tipos de informações: experiências com animais, estudos *in vitro* sobre células isoladas e investigações efectuadas no homem. As investigações efectuadas no homem limitam-se ao estudo de sujeitos expostos a radiações com objectivos médicos e ao estudo de sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki. Como estes estudos não retratam as condições normais nem têm em conta factores como a origem étnica, os níveis naturais de cancro, a dieta, os vícios (fumar), entre muitos outros factores, as estimativas de risco efectuadas com base nesta informação apresentam algumas limitações.

De acordo com o BEIR V, o risco de contrair cancro fatal é 0,08% por rem, quando a dose é absorvida num intervalo de tempo pequeno (agudo) e poderá ser 2-4 vezes menor (0,04% por rem) quando a absorção, da mesma dose, ocorrer ao longo de um período de

tempo grande (crónico). Este valor corresponde a uma média para todas as idades, para ambos os sexos, e para todas as formas de cancro.

Este risco foi determinado por outros grupos científicos e, embora os seus resultados não sejam exactamente iguais ao do BEIR V, porque os métodos utilizados e as suposições em que se basearam, terem sido diferentes, não diferem muito. Por exemplo, a Comissão Internacional de Protecção contra as Radiações (CIPR) admite que o risco de morte por cancro é de 1,25 para cada 100 pessoas que tenham recebido cada uma 1Gy de radiação X ou gama.

Que informação pode ser tirada desta estimativa de risco?

Considere-se como exemplo a situação nos Estados Unidos da América. Nos EUA, a percentagem actual de morte devido ao cancro é aproximadamente 20%, ou seja num grupo de 10000 cidadãos dos Estados Unidos, aproximadamente 2000 morrerão devido ao cancro. Contudo, dado que o processo como é contraído esse cancro é um processo aleatório, não se sabe quais serão os indivíduos que irão morrer.

Atendendo a que o risco de contrair cancro devido à exposição a radiações é 0,08%, se 10000 pessoas forem expostas a 1 rem (irradiação global), seria de esperar que ocorressem oito mortes adicionais ($0.08\% \times 10000 \times 1 \text{ rem}$). Assim, em vez das 2000 pessoas que se esperava que morressem de cancro morreriam 2008. Este pequeno aumento no número esperado de mortes não seria detectado devido às flutuações naturais na incidência de cancro.

Convém referir que não se sabe se irão morrer mais 8 pessoas, sabe-se é que existe o risco de ocorrerem mais 8 mortes adicionais num grupo de 10000 pessoas se elas receberem uma dose de 1 rem num intervalo de tempo pequeno.

Se essa dose de 1 rem for absorvida ao longo de um período de tempo grande, como um ano, o risco seria menos de metade (esperar-se-ia menos de 4 cancros fatais).

Comparação de risco

Os riscos podem ser comparados de diferentes modos. São apresentados a seguir alguns exemplos.

1- Considerar o número de "dias perdidos" por morte antecipada, de uma população, devido a diversos factores que são considerados individualmente. A tabela E.1 apresenta uma comparação da esperança de vida média perdida devido a vários factores.

Tabela E.1- Comparação da esperança de vida média perdida devido a vários factores (Cohen, 1991)

Factor de risco	Esperança de vida perdida
Fumar 20 cigarros por dia	6 anos
Excesso de peso (15%)	2 anos
Álcool (EUA)	1 ano
Acidentes de todos os tipos	207 dias
Perigos naturais de todos os tipos	7 dias
Dose ocupacional (300 mrem/ano) (3 mSv/ano)	15 dias
Dose ocupacional (1 rem/ano) (10^{-2} Sv/ano)	51 dias

Este tipo de comparação também pode ser feito considerando diversos tipos de actividades (Tabela E.2)

Tabela E.2- Comparação da esperança de vida média perdida em várias profissões (Adaptado de Cohen, 1991)

Tipo de trabalho	Esperança de vida perdida
Todos os tipos de industrias	60 dias
Agricultura	320 dias
Construção	227 dias
Mineração	167 dias
Manufaturação	40 dias
Dose ocupacional (300 mrem/ano) (3 mSv/ano)	15 dias
Dose ocupacional (1 rem/ano) (10^{-2} Sv/ano)	51 dias

2- Considerar o Risco Relativo, a probabilidade de 1 em 1 milhão de causar a morte. A tabela E.3 apresenta uma série de factores que têm uma probabilidade de 1 em 1 milhão de causar a morte.

Tabela E.3- Risco Relativo de vários factores causarem uma morte num milhão de pessoas(Adaptado de Chen,1991)

Fumar 1,4 cigarros (cancro do pulmão)
Comer 40 colheres de sopa de manteiga de amendoim
Permanecer 2 dias em Nova Iorque (poluição do ar)
Conduzir 64 km num carro (acidente)
Voar 4×10^3 km num avião a jacto (acidente)
Praticar canoagem durante 6 minutos
Receber 10 mrem (0,1 mSv) de radiação (cancro)

A tabela E.4, apresenta uma comparação semelhante efectuada para alguns exames clínicos, tendo em consideração os seguintes dados:

Fumar cigarros – 50 000 mortes por ano, devido a cancro dos pulmões, em 50 milhões de fumadores que consomem 20 cigarros por dia, ou uma morte por 7,3 milhões de cigarros fumados ou $1,37 \times 10^{-7}$ mortes por cigarro

Dirigir na auto-estrada – 56 000 mortes por ano em 100 milhões de motoristas, cada um percorrendo $1,6 \cdot 10^4$ km ou uma morte por $2,9 \times 10^7$ km percorridos, ou $5,6 \cdot 10^{-8}$ mortes por 1,6 km percorridos.

Indução de cancro fatal devido a radiações – 4% por Sv (100 rem) por exposição a doses pequenas e taxas de exposição baixas.

Tabela E.4- Comparação do risco de alguns exames clínicos (Hall, 1994)

Procedimento	Dose Efectiva (Sv)	Dose Efectiva (mrem)	Risco de Cancro Fatal	Equivalente a fumar o seguinte número de cigarros	Equivalente a percorrer os seguintes quilómetros numa auto-estrada
Radiografia ao tórax	$3,2 \times 10^{-5}$	3,2	$1,3 \times 10^{-6}$	9	37
Exame ao cérebro	$1,5 \times 10^{-4}$	15	6×10^{-6}	44	167
Scanner aos ossos	$4,4 \times 10^{-3}$	440	$1,8 \times 10^{-4}$	1300	5120

Resumindo, temos de pesar os riscos e os benefícios das radiações. Os benefícios que podemos ter são: ter uma fonte de energia, fazer pesquisa científica, ou receber tratamentos médicos. Os riscos são um pequeno aumento do risco de cancro.

As comparações do risco mostram que a exposição a radiações apresenta um risco pequeno, quando comparado com riscos que corremos diariamente. Contudo, deve ter-se algum cuidado na análise destas comparações porque actualmente sabe-se que:

a) a frequência dos cancros varia consideravelmente, após a mesma dose, para espécies animais diferentes e tecidos diferentes. A relação dose-efeito varia consideravelmente em função do tecido, não sendo quase nunca linear.

b) A influência do débito de dose é considerável

c) Para doses iguais, as radiações de transferência de energia elevada são 10 a 20 vezes mais cancerígenas do que as de baixa transferência de energia.

d) A génese de um cancro é o resultado de vários acontecimentos sucessivos ao nível da mesma célula.

Resumindo, tal como em todas as opções que são feitas ao longo de uma vida, também no caso da utilização das radiações tem de pesar-se as vantagens e as desvantagens que podem advir dessa opção.

ANEXO – F
QUESTIONÁRIO

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

QUESTIONÁRIO

Este questionário destina-se a alunos de **Ciências Físico-Químicas A** que estejam a frequentar o 10º ano de escolaridade.

O estudo no qual este questionário se insere, tem como principal objectivo reflectir sobre a aprendizagem que os alunos fazem sobre o tema *Radiações*, nomeadamente sobre as consequências que estas podem ter na saúde dos cidadãos.

Através deste questionário pretende-se:

- averiguar do conhecimento que os alunos têm sobre as aplicações das radiações na saúde;
- caracterizar as concepções incorrectas que os alunos têm sobre as radiações no domínio da saúde.

As respostas a este questionário destinam-se a servir de base a um documento reflexivo sobre as práticas de ensino na disciplina, a realizar pela autora, no âmbito de uma tese de mestrado no Ensino da Física e da Química da Universidade de Aveiro.

A sua colaboração no preenchimento deste questionário é fundamental.

Agradeço desde já a colaboração

Carla Alves

Junho de 2004

Idade:

Sexo:

1- Numere os tópicos que acharia mais interessantes para serem abordados, mais aprofundadamente, no tema *Radiações*:

(Numere de 1 a 5 , sendo o 1 o mais interessante)

- Saúde
- Produção de energia
- Armas nucleares
- Indústria e agricultura
- Cosmos

Outro tópico:.....

1.1- Indique a razão da escolha do tópico ao qual atribuiu o número 1:

.....

.....

1.2- Relativamente ao tópico Saúde o que é que gostaria de saber sobre o assunto?

.....

.....

2- Do que é que tem mais receio por achar mais provável acontecer

(Numere de 1 a 5, sendo o 1 o que tem mais receio)

Um ataque com bombas convencionais	<input type="text"/>
Um ataque com bombas nucleares	<input type="text"/>
Um ataque com bombas químicas	<input type="text"/>
Um terramoto	<input type="text"/>
Um acidente numa Central Nuclear	<input type="text"/>

**3- Do que é que tem mais receio por achar que as consequências seriam piores
(Numere de 1 a 5, sendo o 1 o que tem mais receio)**

Um ataque com bombas convencionais	<input type="text"/>
Um ataque com bombas nucleares	<input type="text"/>
Um ataque com bombas químicas	<input type="text"/>
Um terramoto	<input type="text"/>
Um acidente numa Central Nuclear	<input type="text"/>

4- A seguir é apresentada uma lista de exames clínicos, assinale os que envolvem a exposição do paciente a radiações.

(Assinale com um X a opção que considera mais correcta)

Exame clínico	Sim	Não	Desconheço
Imagiologia de Ressonância Magnética (IRM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tomografia Axial Computorizada (TAC)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radiografia convencional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ecografia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fluoroscopia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cintigrafia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Angiografia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5- É usual ouvir-se dizer que o efeito das radiações é cumulativo isto significa que ...

(Assinale com um X a opção que considera mais correcta)

... a radiação acumula-se no corpo	<input type="checkbox"/>
... a energia das radiações acumula-se no corpo	<input type="checkbox"/>
... as substâncias radioactivas permanecem no corpo dos indivíduos para sempre	<input type="checkbox"/>
... os organismos vivos não têm a capacidade de repararem, sempre, os danos provocados pelas radiações	<input type="checkbox"/>

6- A seguir são apresentadas algumas medidas de segurança que são aconselhadas em algumas situações. (Assinale com um X as que considera eficazes, em cada situação)

Medida de segurança	Exposição a uma substância radiactiva	Exposição a Raios X
Arejar a sala		
Salas maiores		
Resguardo (ecrã de segurança) de chumbo		
Bata de algodão		
Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar		
Máscara		
Tomar um duche		

Justifique as razões das escolhas feitas

Arejar a sala porque

.....

Salas maiores porque

.....

Ecrãs(filtros) de segurança porque

.....

Bata de algodão porque

.....

Não comer nem beber enquanto estiver a trabalhar

.....

Máscara de protecção porque

.....

Tomar um duche

.....

7- A seguir são apresentados alguns tipos de radiações.

(Assinale com um X a opção que considera mais correcta, em cada caso.)

	São radiações	Não são radiações	Não existem
Raios alfa			
Luz visível			
Microondas			
Ultra-som			
Raios cósmicos			
Raios zeta			
Urânio-235			
Magnetismo			
Ondas-curtas			
Infravermelhos			
Radão			

8- Tendo em atenção a frase seguinte,

“Para indivíduos do público, a Comissão limitou em 5 mSv a dose equivalente anual”.

Indique o que é que esta afirmação representa para si.

NOTA- A unidade de dose equivalente, adoptada pela Comissão Internacional de Protecção Radiológica (CIPR) é o sievert (Sv), no Sistema Internacional.

(Assinale com um X a opção que acha mais correcta)

Uma dose de radiação equivalente de 5 mSv pode causar a morte em meses	
Só uma dose de radiação equivalente maior do que 5 mSv é que pode causar a morte no intervalo de tempo de alguns meses.....	
Desde que alguém receba menos do que a dose equivalente permitida anual ele ou ela não corre nenhum risco.	
Só uma dose de radiação equivalente superior a 5 mSv, por ano, é que pode causar danos às pessoas mais sensíveis a longo prazo.	
Se a dose de radiação equivalente anual não ultrapassar os 5mSv durante toda a vida da pessoa esta tem pouca probabilidade de contrair cancro provocado por radiações.	
Se a dose de radiação equivalente for superior a 5 mSv num ano 50% da população irá contrair cancro	

Outra:

9- Aplicações/consequências

(Assinale com um X a opção que considera mais correcta, em cada caso. Pode assinalar mais do que uma hipótese em cada linha)

	Podem provocar doenças	Podem curar doenças	Podem ser usadas para diagnosticar doenças
Radiações Ultravioleta			
Raios X			
Raios gama			
Substâncias radioactivas			

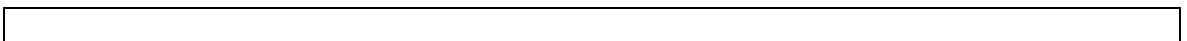
10- Classifique as frases seguintes em correcta ou incorrecta.

(Assinale com um X a opção que acha mais correcta, em cada caso.)

	Correcto	Incorrecto
As radiações solares só são perigosas quando está calor.		
As radiações usadas nos solários (clínicas para bronzear) não são tão perigosas como as do Sol.		
As radiações do Sol são mais perigosas na praia do que nas montanhas.		
As radiações do Sol não são perigosas quando o tempo está encoberto.		
Se colocarmos protector solar várias vezes ao dia podemos estar todo o dia na praia.		
Se estivermos debaixo do chapéu-de-sol nas horas em que o Sol está mais alto estamos protegidos das radiações mais perigosas.		
Deve-se colocar os bronzeadores antes de sair de casa por que eles demoram a fazer efeito.		

ANEXO - G

FICHAS



Níveis perigosos

Ozono acima do limite durante 197 horas

Ao longo de 197 horas os níveis de ozono estiveram acima do limite obrigatório de informação à população. Um valor que ultrapassa em muito as 30 horas registadas em 2002. Este tipo de poluição atmosférica pode prejudicar a saúde, principalmente crianças, idosos, asmáticos e pessoas com problemas alérgicos ou respiratórios.

SicOnline 2003-08-12 21:44



AP

Carros e calor: uma combinação fatal para o aumento da poluição atmosférica

Legislação sobre Informação acerca da Poluição pelo Ozono Troposférico

A Directiva Comunitária 92/72/CEE, de 21 de Setembro, estabeleceu um limiar de alerta para a população em geral, e um limiar de informação, com um valor mais baixo, destinado aos grupos de população particularmente sensíveis ao ozono.

- **limiar de informação à população:** a concentração de ozono acima da qual existem efeitos limitados e transitórios para a saúde humana, em caso de exposição de curta duração, para categorias de população particularmente sensíveis; **concentração média horária de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

- **limiar de alerta à população:** a concentração de ozono acima da qual existe um risco para a saúde humana, em caso de exposição de curta duração, para toda a população; **concentração média horária de $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

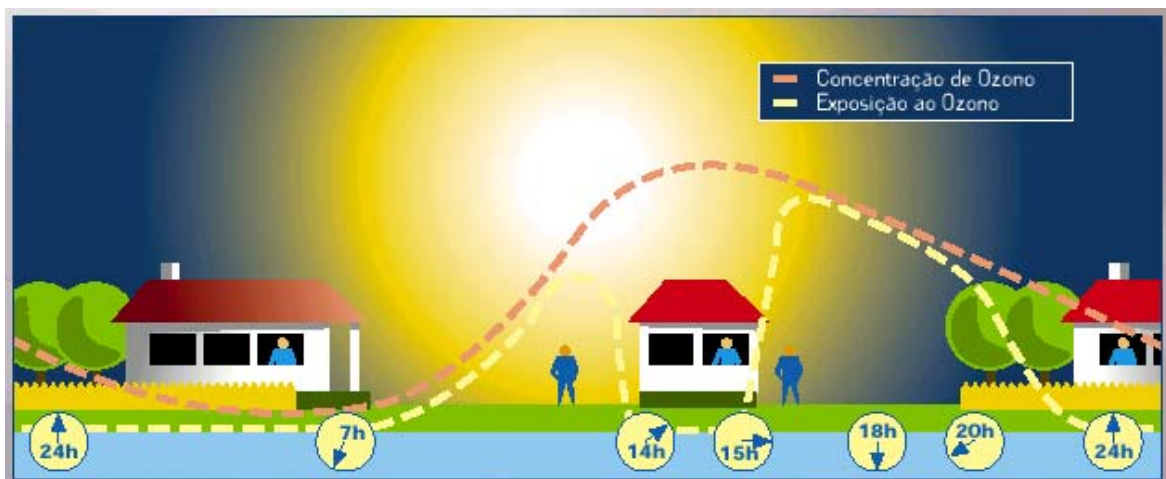
Benefícios/malefícios do ozono?

- o ozono estratosférico, assim designado por existir ao nível da estratosfera (camada alta da atmosfera), desempenha um papel vital ao filtrar a radiação solar ultravioleta, protegendo assim a vida sobre a Terra;
- o ozono troposférico, situado na troposfera (camada atmosférica em contacto com a superfície terrestre), afecta negativamente a saúde do homem, provocando igualmente danos na vegetação e nos materiais.

O **ozono é um poluente secundário**, é formado através de um conjunto de reacções químicas entre outros poluentes, especialmente óxidos de azoto (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV). Estas reacções ocorrem na presença de radiação solar. Os poluentes primários (principalmente NO_x e COV) que dão origem à formação do ozono são essencialmente resultantes das emissões dos veículos automóveis e de determinadas actividades industriais. Os COV podem ainda provir de processos de evaporação resultantes do armazenamento e utilização de combustíveis, sobretudo gasolina e da utilização de solventes e de produtos contendo estes compostos na sua formulação (tintas, colas, produtos de limpeza, etc.).

Pelo facto de a **radiação solar** desempenhar um papel muito importante na química de formação do ozono, os episódios de concentrações elevadas deste poluente ocorrem especialmente nos **dias de Verão**, na presença de condições meteorológicas particulares (forte radiação solar, temperaturas elevadas, vento fraco e estabilidade atmosférica).

O ciclo diário do ozono troposférico em zonas urbanas apresenta uma variação típica ao longo das 24 horas do dia, dependente das variações do tráfego e do ciclo solar diário. Nas primeiras horas da manhã as concentrações de ozono são mínimas, verificando-se o seu aumento progressivo após as horas de maior intensidade de tráfego. Os valores mais elevados deste poluente são atingidos durante o período da tarde, quando a actividade fotoquímica é máxima. Após o pôr-do-sol, praticamente todo o ozono em áreas urbanas é removido da atmosfera pelos poluentes primários emitidos pelos veículos automóveis nas horas do fim da tarde, verificando-se uma diminuição acentuada das concentrações de ozono durante o período nocturno.



Quais os efeitos do ozono troposférico?

O ozono é um gás agressivo para as mucosas oculares e respiratórias. A acção do ozono pode manifestar-se por irritações nos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça e por problemas respiratórios, tais como dificuldade em respirar, dores no peito e tosse.

Os efeitos deste poluente na saúde dependem das suas concentrações na atmosfera, da duração da exposição, do volume de ar inalado e do grau de sensibilidade ao ozono, variável de indivíduo para indivíduo. A actividade física intensa ao ar livre aumenta o volume de ar inspirado e o ozono inalado, acentuando portanto os efeitos nocivos deste poluente.

As crianças, os idosos, os asmáticos e alérgicos, e indivíduos com problemas respiratórios e cardíacos, são particularmente sensíveis à poluição pelo ozono

O ozono tem também um efeito nocivo sobre a vegetação e sobre os materiais. Este poluente reduz a actividade fotossintética das plantas, o que se torna visível pelo aparecimento de manchas e queda das folhas, redução de crescimento a partir de certas concentrações e períodos de exposição, e mesmo pela completa destruição de culturas mais sensíveis. Os danos provocados pelo ozono em materiais como a borracha, têxteis e pinturas podem também ser elevados.

Quais os cuidados a ter no caso de um episódio de poluição por ozono?

Durante os episódios de poluição por ozono, em caso de ultrapassagem do limiar de informação à população, as pessoas mais sensíveis (crianças, idosos, asmáticos e indivíduos com problemas respiratórios) devem evitar inalar uma grande quantidade de ar poluído, especialmente durante o período mais quente (durante a tarde). Por este motivo, a actividade física intensa ao ar livre deve ser reduzida ao mínimo.

Durante estes períodos devem também ser evitados outros factores de risco, tais como o fumo do tabaco e a utilização de produtos irritantes contendo solventes na sua composição, uma vez que estes podem agravar os efeitos da exposição a concentrações elevadas de ozono.

Em caso de ultrapassagem do limiar de alerta, toda a população deve seguir as recomendações acima referidas. Os indivíduos mais sensíveis devem mesmo evitar sair de casa durante o período da tarde.

Questões:

- 1- Quais são os valores a partir dos quais deve haver o aviso de perigo à população?
- 2- Por que é que umas vezes se diz que o ozono é benéfico e outras diz-se que ele é prejudicial?
- 3- Explica por que é que as concentrações mais perigosas são atingidas nos dias de Verão e no período a seguir ao almoço.
- 4- Quais são os efeitos que o ozono troposférico provoca nos seres vivos?
- 5- Que sugestões darias para diminuir a concentração de ozono na troposfera.

Adaptado de:

- Pereira, A. (1999). O que deve ser saber sobre o ozono. Divisão de Ambiente Atmosférico. Lisboa: Direcção Geral do Ambiente.
- <http://gasa.dcea.fct.unl.pt>

Sol e IGNORÂNCIA

Ninguém deveria morrer de cancro de pele

Uma rapariga entrou no meu consultório. Tinha 17 anos era bonita e animada e deveria ter a vida toda pela frente... não fora o sinal que tinha na barriga.

Apesar de pequeno, o sinal era escuro e de pigmentação desigual. Já o ignorava há algum tempo, até que uma amiga a convenceu a ir ao médico.

Tirei-lho com anestesia local, mas as análises revelaram que era um melanoma maligno já avançado. Tirámos-lhe um pedaço de tecido maior e os gânglios linfáticos potencialmente afectados. As análises revelaram que o cancro já os atingira.

Uma semana depois, tirámos-lhe todos os gânglios linfáticos da axila. Se viver, poderá sofrer de um inchaço permanente desse braço. Encetou agora a quimioterapia, que a faz sentir mal e não a deixa trabalhar. As suas hipóteses de sobrevivência são inferiores a 30%.

Sou cirurgião plástico e há demasiadas histórias como esta que me fazem desesperar. A taxa de sobrevivência para os melanomas tratados nas primeiras fases é de 95 %. Se esta rapariga soubesse o que procurar, não tivesse ignorado o sinal e viesse ver-me mais cedo, estaria agora a prosseguir normalmente a sua vida.

(...) Um escaldão sério na infância representa um risco significativo de mais tarde ter um melanoma.

A minha geração adorava bronzear-se, mas está a pagar o preço: calcula-se que 40 a 50% dos americanos tenha tido um cancro de pele até aos 65 anos. A melhor solução é evitá-lo; para além disso, só o tratamento precoce pode salvar-nos.

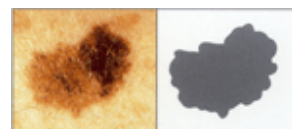
Peter Butler

Peter Butler é cirurgião plástico no Royal Free Hospital de Londres

Seleções Reader's Digest, Agosto 2003

O ABCD do Melanoma

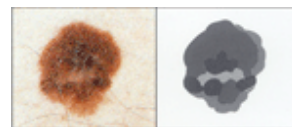
A – Assimetria: O sinal tem formas diferentes dos dois lados. Um sinal deve ser simétrico.



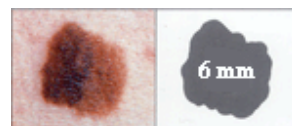
B- Bordos Irregulares: Os limites do melanoma não são regulares.



C- Variação de Cor: Sinais normais apresentam, normalmente, uma cor uniforme. Os melanomas têm várias tonalidades de preto ou castanho e podem até ter tonalidades cor-de-rosa, brancas ou azuis.



D- Diâmetro maior do que seis milímetros: um sinal que tenha um diâmetro superior ao de um lápis deverá ser vigiado, especialmente se apareceu recentemente ou se mudou de forma ou cor.



Nem todos os melanomas apresentam as características ABCD mas se verificares a existência de alguma alteração ou se estás preocupado com algum sinal, deves consultar um dermatologista. Deves ter atenção a alterações em tamanho, forma, cor, elevação e sensação ao tacto (comichão, ou dor).

Imagens e texto (adaptado) de http://www.melanoma.ca/Prevention/understanding_UV.htm

A RADIAÇÃO SOLAR

O Sol emite vários tipos de radiações, mas são na maioria as radiações ultravioletas (UV), visíveis (Vis) e infravermelha (IV) que atingem a superfície da Terra.

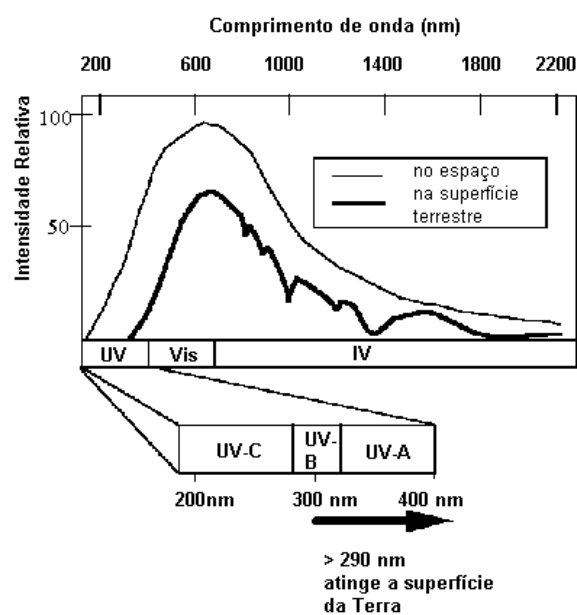


Fig - Espectro solar no espaço e na superfície terrestre

As radiações UV podem ser subdivididas em UV-A, UV-B e UV-C.

A radiação **UV-C** (200-290 nm), na realidade não atinge a superfície da Terra, sendo absorvida pelo ozono e pelas camadas atmosféricas da estratosfera.

A banda **UV-B** (290-320 nm), que inclui as radiações mais energéticas e perigosas, corresponde a 5-10% da radiação UV que atinge a Terra. A radiação UV-B, é responsável pelas queimaduras solares e pelo bronzeado tardio (este pode fornecer alguma protecção solar natural). É responsável pela produção de vitamina D mas, infelizmente, também pode causar o cancro de pele, sendo responsável pelo envelhecimento da pele.

A intensidade das radiações UV-B, varia com quatro factores:

- a estação do ano (no hemisfério norte, a radiação UV-B é mais intensa em Junho/Julho e é menor em Dezembro/Janeiro);
- a hora do dia (é mais intensa entre as 10 e as 16 h solares);
- a altitude (4% de aumento da intensidade por cada 300 m de altitude);
- e a latitude (mais intensa junto ao equador).

Isto acontece porque depende:

- 1º- da composição da atmosfera (90% da radiação UV-B é filtrada pela camada de ozono);
- 2º- do ângulo que os raios solares fazem com a superfície terrestre (espessura da camada de atmosfera atravessada).

A banda **UV-A** (320-400 nm), compreende os restantes 90-95% da radiação UV que atinge a superfície terrestre. Está associada, principalmente, com o “bronzeado imediato”, pois penetra profundamente na derme e contribui, juntamente com a radiação UV-B, para o cancro de pele e o envelhecimento da mesma por acção das radiações solares.

Contrariamente às radiações UV-B, as UV-A são menos afectadas pela variação diária, sazonal ou geográfica, e não são filtradas pelo vidro das janelas.

NOTA: As radiações Infravermelhas, também são consideradas factor de risco, visto provocarem lesões específicas como: vermelhidões, rebentamento de vasos sanguíneos e possível desenvolvimento de carcinomas.

Atendendo às características das radiações UV, verifica-se que:

- é necessário proteger a pele todos os dias, mesmo nos dias nublados;
- o perigo de exposição às radiações UV pode ser tão grande no Inverno quanto no Verão, especialmente a altitudes elevadas;
- mesmo debaixo de água é preciso proteger a pele;
- uma t-shirt branca de algodão, também não oferece muita protecção, contudo quanto mais apertada for a textura do pano maior será a protecção oferecida.
- o chapéu-de-sol não é uma protecção muito eficaz, em virtude de se dever ter em conta os danos causados pela radiação solar reflectida (ver tabela 1).
- deve ter-se cuidado com as radiações solares reflectidas, mesmo que não se esteja na praia.

Tabela 1- Reflexão da radiação solar em função do material

Material	% da radiação solar reflectida
Areia seca	25
Neve fresca	80
Tinta branca	70-90

PROTECTORES SOLARES

Os protectores solares são empregues com o objectivo de prevenir o aparecimento do cancro de pele e o envelhecimento da mesma (aparecimento de rugas e manchas).

Factor de Protecção Solar

O Factor de protecção solar (SPF- *Sun Protection Factor*) (também são usadas as siglas FP para factor de protecção e IP para índice de protecção) é uma medida da eficácia do protector solar na protecção da pele da radiação UV-B. Este factor é calculado com base no intervalo de

tempo necessário para produzir um eritema mínimo (isto é, vermelhidão visível da pele). Matematicamente, é o quociente entre a dose de radiação UV necessária para produzir um eritema mínimo (“minimal eritema dose” ou MED) quando usa uma quantidade de protector solar de 2 mg por cm² de superfície de pele, e a dose de radiação UV necessária para produzir o mesmo eritema sem o uso de protector solar, ou seja:

$$\text{SPF} = \frac{\text{MED da pele protegida com protector solar (2mg/cm}^2\text{)}}{\text{MED da pele que não foi protegida}}$$

Nota- Quanto maior for o SPF, maior será o tempo de protecção

Assim, se uma pessoa normalmente fica queimada após uma exposição ao sol de 15 minutos, ao aplicar o protector solar de SPF 4, pode estender o seu período de exposição para 60 minutos; contudo, a reaplicação do produto após este período de tempo não oferece protecção adicional. Um protector solar com SPF 15 bloqueia 93% dos raios solares e, um de índice 30 ou superior bloqueia até 97%.

É importante ter em conta que, estas medições de SPF são feitas com um simulador solar. Quando usados com a luz solar natural, os produtos apresentam sempre um valor SPF inferior ao do rótulo. Os utilizadores, também devem ter em conta que os valores SPF se aplicam à eficiência do protector contra as radiações UV-B. Não existe nenhuma medição padrão, da eficiência do protector, no que diz respeito ao bloqueio das radiações UV-A.

Método de aplicação

De um modo geral, as pessoas tendem a usar menos quantidade de protector solar do que o que é usado durante os testes. Quando se testa o SPF, é usada uma quantidade standard de 2 mg por cm² de superfície; contudo, na prática, a maioria das pessoas usa só 0,5-1mg por cm². Este filme fino não atinge o SPF rotulado; por exemplo, um SPF de 15 pode na realidade só fornecer uma protecção de 3-7. É aconselhado cerca de 30 mL para cobrir todo o corpo de um adulto de estatura média.

O protector deve ser aplicado 30 minutos antes de se expor ao sol para otimizar a substantividade (capacidade de um protector solar resistir à remoção por meios físicos tais como o suor ou o contacto com a água) do produto pois permite que ele penetre profundamente na pele e se ligue às proteínas. Deste modo, não sairá facilmente com a água. (É esta a razão porque se deve aplicar o protector solar antes, e não porque precise de um intervalo de tempo para ser “activado”, ele é eficaz mal é aplicado).

Questão:

Por que é que a intensidade das radiações solares varia ao longo do ano, depende da latitude e da altitude?

ANEXO – H

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, M. & Finn, E. J. (1981). *Volume II – Campos e ondas. Física um curso universitário*. Brasil (São Paulo): Edgard Blücher Ltda.
- Cavendon, J. (2000). *A radiactividade*. Biblioteca básica de ciência e cultura. Lisboa: Instituto PIAGET.
- Cohen, B.L. & Lee, I.S. (1991). Catalogue of Risks Extended and Updates. *Health Physics*, Vol. 61, September
- Commission internationale de l'éclairage (CIE) (1987). *International lighting vocabulary*, CIE Publication N°. 17.4.
- Darby, S. (1999). Radiation risks. *BMJ*, **319**: 1019-1020.
- De Almeida, G. (1997). *Sistema Internacional de Unidades (SI). Grandezas e unidades físicas: Terminologia, símbolos e recomendações* (2ª edição). Lisboa: Plátano Edições Técnicas
- De Lima, J.P. (2003). *Biofísica Médica*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- DECRETO REGULAMENTAR N° 9/90. Diário da República, N° 91, II Série. 19 de Abril.
- Dernell, W. & Wheaton, L. G. (1995). Surgical management of radiation injury- part I. *Compend Contin Educ Pract*, **17** (2): 181-188.
- Dowsett, D. J. & Kenny, P. A. (1998). *The Physics of Diagnostic Imaging*. London: Chapman & Hall Medical.
- Ginja, M.M. & Ferreira, A.J. (2002) Efeitos biológicos da radiação X e radioproteção em medicina veterinária. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, 101-109 (artigo de revisão).
- Hall, E. (1994). *Radiobiology for the Radiologist* (4th Edition). J.B. Lippincott Company.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (1995). *Ótica e Física moderna* (4ª Edição). *Fundamentos de Física*, 4. Brasil (Rio de Janeiro): LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- Hernandez, M. M. & Larrea, M. I. (1992). Riscos de la radiación y protección. In: *Radiologia Veterinaria-Pequeños Animales* (431-440). Madrid: Interamericana McGraw-Hill.
- Hughes, D. (1981). Occupational exposure to laboratory sources of ultraviolet radiation. In: M. Renfrew (Ed.), *Journal of Chemical Education, Safety in the chemical laboratory*, vol.4, 12.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (1998). Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 Hz). *Health physics*, 74(4), 492-522.
- International Non-Ionizing Radiation Committee (IRPA/INIRC) (1989). Recommendations for minor updates to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to laser radiation. *Health Physics*, 54 (5), 573-575
- International Non-Ionizing Radiation Committee (IRPA/INIRC) (1993). The use of lasers in the workplace: A practical guide. *Occupational Safety and Health Series n.º 68*. Geneva: International Labour Office.
- International Non-Ionizing Radiation Committee (IRPA/INIRC). (1985). Guidelines on limits of human exposure to laser radiation. *Health Physics*, 49(5), 341-359
- Klein, E. (1994). *Sob o átomo, as partículas*. Biblioteca básica de ciência e cultura. Lisboa: Instituto PIAGET.
- Martinho, E. & Salgado, J. (1996). *Introdução à física das radiações*. Sacavém: M.C.T. - Instituto Tecnológico Nuclear.
- Morgan, J.P. (1993). *Techniques of Veterinary Radiography* (5th ed.). Iowa State University Press. Ames.
- National Health and Medical Research Council (NHMRC). (1989). Occupational standard for exposure to ultraviolet radiation. *Radiation Health Series*, Nº. 29
- Office of Engineering & Technology (OET). (1999, August). *Bulletin 56 (4th edition). Questions and answers about biological effects and potential hazards of radiofrequency electromagnetic fields*.
- Okuno, E., Caldas, I.L. & Chow, C. (1986). *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Brasil (São Paulo): HARBRA Ltda.
- Orden, M. A. & Gonzalo-Orden, J. M. (1994). Radiobiología radioprotección. In: J. M. Gonzalo, I. Avila, F. San Román, A. Orden, M. A. Sánchez-Valverde, I. Bonafonte et al. (Eds.) *Cirugía Veterinaria* (647-664). Madrid: Interamericana McGraw-Hill.

- Perry, R. L. (1993). Principles of conventional radiography and fluoroscopy. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, **23** (2): 235-252.
- Philips Portuguesa (1999). Memória descritiva e justificativa das obras da instalação de radiodiagnóstico da UTAD.
- Pisco, J.M. (2003). *Imagiologia básica - texto e atlas*. Lisboa: Lidel Medicina e Ciências.
- Popkess, B. (1980). *Manual de sobrevivência na situação de Guerra Nuclear: Como sobreviver durante e após um ataque nuclear*. Arte de viver. Mem Martins: Publicações Europa-América.
- Portaria n.º 1421/2004. Diário da República –I Série-B, N.º 275 – 23 de Novembro 2004.
- Rauth, A. M. (1991). Physical carcinogenesis – Ionizing radiation. In: A. R. Moossa; Stephen C. Schimpff; Martin C. Robson (Eds.). *Comprehensive Textbook of Oncology* (2nd ed.), Vol I. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Strickland, P.T. & Kensler, T. W. (1995). Chemical and physical agents in our environment. In: Martin D. Abeloff, James O. Armitage, Allen S. Lichter, John E. Niederhuber(Eds.). *Clinical Oncology* (151-166). New York: Churchill Livingstone.
- Teixeira, H. (2000). *Laser médico - a face colorida do laser: a aplicação do laser na Medicina*. Heitor TEIXEIRA (Ed.). Clínica Medilaser Ltda.
- Teste Saúde nº 34, de Novembro/Dezembro de 2001
- Tubiana, M. & Bertin, M. (1990). Radiologia e radioproteção. Universo da ciência. Lisboa: Edições 70
- Webbon, P. M. (1995). Radiation Protection. In: R. Lee (Ed.) *Manual of Small Animal Diagnostic Imaging* (2nd ed.), 172-182. London: British Small Animal Association.
- Yavorski, B.M. & Detlaf, A.A. (1990). *Prontuário de Física* (2ª edição). Moscovo: MIR.